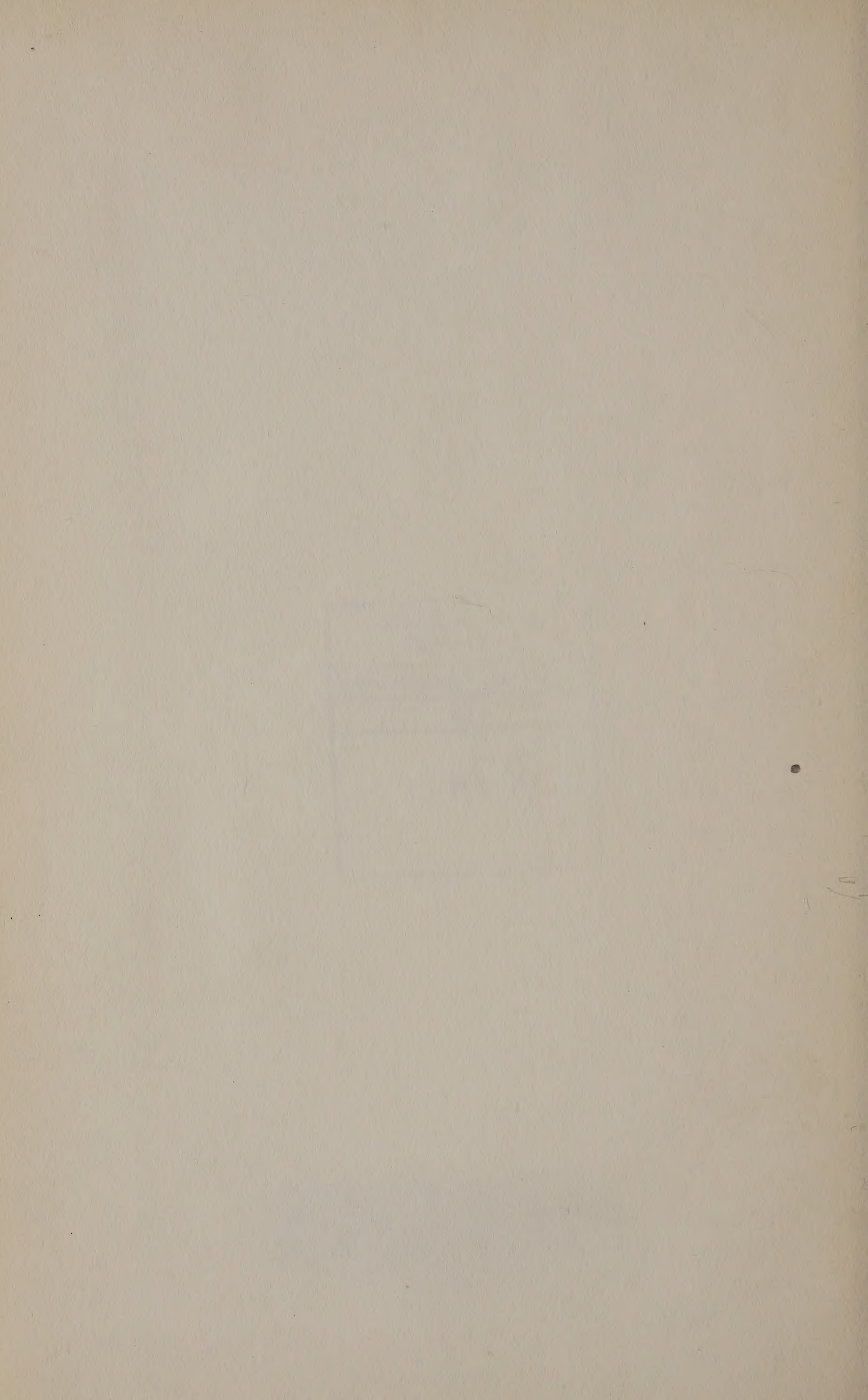




Zur Physik Leonardo da Vincis.

Inaugural-Dissertation
zur
Erlangung der Doktorwürde
der
hohen philosophischen Fakultät
der
Friedrich-Alexanders-Universität Erlangen
vorgelegt von

Otto Werner
aus Klein-Ottersleben bei Magdeburg.

Tag der mündlichen Prüfung: 20. Juni 1910.

Erlangen.
K. B. Hof- und Univ.-Buchdruckerei von Junge & Sohn.
1910.

Gedruckt mit Genehmigung der hohen philosophischen Fakultät der Universität Erlangen.

Referenten: Herr Prof. Dr. E. Wiedemann und Herr Prof. Dr. M. Noether.
Dekan: Herr Geh. Hofrat Prof. Dr. Luchs.

Der treuen Mitarbeiterin,

meiner lieben Frau.

Inhalt.

Alphabetisches Literaturverzeichnis.

Im Folgenden sind außer den von mir bei der Arbeit benutzten Werken des Leonardo da Vinci nur diejenigen aufgeführt, die auf meine Arbeit besonders Bezug hatten. Interessenten bin ich gern bereit das gesamte Literaturverzeichnis zur Verfügung zu stellen, das auch die Arbeiten und Artikel über Leonardo und seine Werke in bis jetzt möglichster Gesamtheit umfaßt.

A.

d'Adda, Girolamo, L. d. V. e la sua libreria. Mailand, 1873.

d'Adda, L. d. V., la Gravure milanaise et Passavant in „Gazette des Beaux Arts“, 1868.

Alhazen, Opticae thesaurus Alhazeni Arabis, von Risner. Basel, 1572.

Al Kindî, de Aspectibus, Manuskript von Dr. Vogl (siehe diesen).

Amoretti, Memorie storiche sulla vita, gli studi e le opere di L. d. V. Mailand, 1804.

Arnold, Dr. R. F., Die Kultur der Renaissance. Leipzig, 1904.

B.

Baarmann, Über das Licht von Ibn al Haitam, Zeitschrift der deutsch-morgenländ. Ges., 36. Jahrg. 1882. Inaug.-Diss., Halle, 1882.

Baratta, Mario, Curiosità Vinciane. Perchè L. d. V. scriveva a rovescio. Torino, 1904.

—, L. d. V. ed i Problemi della Terra. Turin, 1903.

Beck, Th., L. d. V. Vierte Abhandl.: Codice atlantico. Zeitschr. d. V. d. Ing. Berlin, 1906.

—, Beiträge zur Gesch. des Maschinenbaues. Berlin, 1900.

—, Die Mathematik aus dem C.-A. Zeitschr. für gewerbl. Unterricht. Leipzig, Jahrg. XVIII.

—, Die Geometrie krummliniger Figuren L. d. V.'s, Zeitschr. für gewerbl. Unterricht. 18, 1903.

—, Abhandl. über Gebläse und Ventilatoren bei L. d. V., Zeitschr. d. V. d. Ing. Berlin, 1906.

—, In „Historischen Notizen“ im „Zivilingenieur“. Leipzig, 1888 u. 1893.

—, L. d. V's. Ansicht vom freien Fall schwerer Körper. Zeitschr. d. V. d. Ing. Berlin, 1907.

Beltrami, Luca, Il Codice di L d. V. nella Biblioteca del Principe Trivulzio in Milano, Trascritto ed annotato da L. Beltrami. Mailand, 1891.

Bindel, K, Versuche der Alten und der Araber. Bamberg, 1903.

Bock, Die Brille und ihre Geschichte Wien, 1903.

Bode, Die Alhazensche Spiegelaufgabe, Jahresber. des physik. Vereins zu Frankfurt a. M., 1891/92.

Böhm, Joh. G. sen., Des florentinischen Mahlers Leonardo da Vinci höchst nützlicher Traktat von der Mahlerei. Ins Deutsche übers. v. Böhm, II. Aufl. Nürnberg, 1747.

Bossi, Giuseppe, Vita di L. d. V. Padua, 1814.

Brockelmann, Geschichte d. arab. Literatur, 1898.

Brown, I. W., Life of L. d. V. London, 1828.

Buttenstedt, C., L. d. V.'s Flugtheorie, in „Welt der Technik". Berlin, 1907.

C.

Campori, G., Nuovi documenti per la vita di L. d. V. Modena, 1865.

Cantor, M., Vorlesungen über Gesch. der Mathematik. Leipzig, 1894.

—, Über einige Konstruktionen v. L. d. V. Hamburg, Math. Ges. Festschrift. Leipzig, 1890.

Cardinali, Fr., Del moto e. mis. dell. acq. di L. d. V Bologna 1828.

Charles, M., Roger Bacon. Paris, 1861.

Chiarini, G., L' acquisto dei codici italiani di Asburnham Palace Nuova antologia t. XLV, 1884.

Cialdi, Alessandro, L. d. V., fondatore della dottrina sul moto ondosa del Mare 1873.

Courajod, L., et Ch. Rav.-Mollien, Conjectures etc. et Étud. sur les connaiss. botaniques d. L. d. V. 1877.

Curdy, Edw Mc., L. d. V. London, 1904.

Curtze, M, Die Dunkelkammer in „Himmel und Erde". Berlin, 1901.

—, Die Abhandlung des Levi ben Gerson über Trigonometrie und den Jakobstab, in „Bibl. Mathem.", 1898

—, Ein Beitrag zur Geschichte der Physik im 14. Jahrhundert, in „Bibl. Mathem.", 1896.

D.

Dannemann, Dr. F., Grundriß der Geschichte der Naturwissenschaften. Leipzig, 1896—98.

Darmstädter, Prof. L., Handbuch zur Gesch. der Naturw. und Techn. Berlin, 1908.

Delécluze, Saggio intorno a L. d. V. Siena, 1844.

—, Essai sur L d. V. Paris, 1841.

Delisle, L., Les manuscrits du comte d' Asburnham. Paris, 1883.

Dozio, Giov., Degli scritti e disegni di L. d. V. (memoria postuma). Mailand, 1871.

Duhem, P., Les Origines de la Statique. Paris, 1905.

—, Etudes sur Léonard de Vinci. Paris, 1906.

Duhem, P., Über den Ursprung des Prinzips der virtuellen Verrückungen. Comptesrend., 1905.
—, L. d. V. et la composition des forces concourantes. Bordeaux, Bibl. Mathem., 1904.
—, Das Prinzip von Pascal. Hist. Studie, Rév. gén. d. sc., 1905.
—, Über einige wissensch. Entdeckungen L. d. V's., Comptes-rend. 1906.
—, La Statique au Moyen-Age et Léonard de Vinci. Revue des Questions scientifiques, 1904.
Dühring, Kritische Gesch. der allgem. Prinz. der Mech. Berlin, II. Aufl. 1887.

E.

Eitelberger, Rud. v., Die neuesten Publikationen über L. d V.
Elsässer, Wilh., Die Bedeutung L. d. V's. für die exakten Naturwissenschaften, in „Preuß. Jahrbücher", 97. Bd. Berlin, 1899.
—, Die Funktion des Auges bei L. d. V. in „Zeitschr. für Mathematik und Physik", 45. Bd. Leipzig, 1900.
Ethé: Die Kosmographie von El-Chazwîni. Leipzig, 1868.

F.

Favaro, A., Ulteriori ragguagli sulla pubblicazione dei manoscritti di L. d. V. Venezia, Istituto Veneto, Atti 1, 1890.
—, Di alcuni recenti lavori su L. d. V. Venezia, Istituto Veneto Atti 3, 1892.
—, L. d. V. e Galileo Galilei; Raccolta Vinciana. Milano, 1906.
—, Gli scritti inediti di L. d. V., Venedig. Auszug des Atti del R. Istit. venet., t. III, ser. VI.
Feldhaus, F. M., Ruhmesblätter d. Technik. Leipzig, 1910.
—, Kurze Bemerkungen zum Fernrohr, in „Welt d. Technik". Berlin, 1908.
—, Der Ingenieur und Naturforscher L. d. V., in der Beilage zur „Tägl. Rundschau", 1907.
Fluegel, G., Al Kindî, genannt der Philosoph der Araber. Leipzig, 1857.
du Fresne, Rafaelle, Trattato della Pittura di Lionardo da Vinci, scritta da R. du Fresne. Napoli, 1733, mit einem Anhang: Leon Battista Alberti: „Della Pittura".

G.

Gagliardi, E., L. d. V. als Anatom, in „Die neue Zeit". Stuttgart, 1899.
Gallenberg, H., Graf von, L. d. V. Leipzig, 1834.
Gatteschi, Stanislav, Elogio di L. d. V. Firenze, 1841.
Gehler, D. Joh., Samuel, Traug., Physikalisches Wörterbuch. Leipzig, 1798.
Gerland u. Traumüller, Geschichte der physikalischen Experimentierkunst. Leipzig, 1899.
—, Geschichte der Physik. Leipzig, 1892.
Gerli, M., Disegni di L. d. V. incisi sugli originali da C G. Gerli riprodotti con note illustrative da G. Vallardi. Milano, 1830.

Geymüller, Les derniers traveaux sur L. d. V. in „Gazette des Baux-Arts“, 1886 u. 1894.
—, L. d. V. als Architekt. Separatabdruck aus den „Literary Works“. London, 1883.

Govi, G., (cf. Saggio del' opere di L. d. V.). Mailand, 1872.
—, l'Ottica di Claudio Tolemeo, da Eugenio Ammiraglio di Sicilia, scrittora del Sec. XII., ridutta in latino, sovra la traduzione araba di un testo greco imperfetto, opere per la prima volta ... pubblicata da Gilberto Govi. Torino, 1885.

Graefe-Saemisch, Handbuch der gesamten Augenheilkunde, J. Hirschberg, II. Teil, XIII. Bd., XXIII. Kap., II. Buch, Abt. 1, Bogen 1—16, Schluß. Leipzig, 1905.

Gregory, David, Euklids Optik und Katoptrik: Euclidis quae supersunt omnia. Oxford, 1703.

Grothe, Dr. H., L. d. V. als Ingenieur und Philosoph. Berlin, 1874.

Günther, L., u. W. Windelband, Geschichte der antiken Naturwissenschaft und Philosophie. Nördlingen, 1888.

H.

Heaton u. Black, L. d. V. and his works. London, 1873.

Heiberg, Literaturgeschichtl. Studien über Euklid. Leipzig, 1882.
—, Euclidis opera omnia. Leipzig, 1895.

Heller, Geschichte der Physik. Stuttgart, 1882.

Herzfeld, Marie, L. d. V., der Denker, Forscher und Poet, II. Aufl. Jena, 1907.

Hirschberg, Dr. J., Geschichte der Augenheilkunde, I. Teil u. III. Teil. Leipzig, 1891.
—, Hirschberg u. Lippert, Die Augenheilkunde des Ibn Sina. Leipzig, 1902.
—, Geschiche der Augenheilkunde, I. Teil 1899.

Houssaye, A., Histoire de L. d. V. Paris, 1869.

J.

Jacobi, M., L. d. V. in seiner Bedeutung für die Naturwissenschaften. Im „Weltall“, 4. Jahrg. Berlin, 1903/04.
—, Nicolaus v. Cusa und L. d. V., zwei Vorläufer des Nicol. Coppernicus. In „Altpreuß. Monatsschrift“. Königsberg, 1902.
—, L. d. V. als Coppernikaner. Altrömische Monatsschrift, 1902.
—, Erde und Himmel im Weltgebäude L. d. V's. in „Natur und Kultur“. Aachen, 1905.
—, Die Sonne, Mond und Erde in der Naturphilosophie L. d. V's., in „Natur und Offenbarung“. Münster, 1904.
—, L. d. V. und seine Leistungen in den exakten Wissenschaften, in „Natur und Glaube“. Leutkirch, 1902.

Janitschek, H., Leone Battista Alberti's kleine kunsthistor. Schriften. Wien, 1877.

Jbel, Th. Dissertation, Die Wage bei den Alten. Erlangen, 1906.
Jordan, Dr. M., Untersuchungen über das Malerbuch d. L. d. V. Habilitationsschrift. Leipzig, 1872.
—, Das Malerbuch des L. d. V. Leipzig, 1873.
Jordanus Nemorarius, De ponderibus Propositiones XIII. Herausgeg. v. Petr. Apianus, 1533.
—, De planisphaerii figuratione, 1536.
—, Elementa arithmetica cum demonstrationibus Jabobi Fabri Stapulensis. Paris, 1496.

K.

Kaufmann, Über die Sinne. Leipzig, 1884.
Klemm, F., Zur Würdigung L. d. V.'s als Naturforscher. Bremen, 1877.
Kottmann, E., Petrus Peregrinus, der Erfinder des ersten auf einer Nadel schwebenden Kompasses in „Welt der Technik". Berlin, 1908.
Krembs, B., L. d. V., der Vorgänger Galileis (Übers. der Venturischen Handschriftensammlung in „Natur und Offenbarung"). Münster, 1901.

L.

La Cour, Paul u. Appel, Jakob, Die Physik auf Grund ihrer geschichtlichen Entwicklung. Braunschweig, 1905.
Le Lapidaire d' Aristote, Extr. de la „Revue des Études grecques", Paris, 1894.
Libri, G., Histoire des sciences mathémat. en Italie. Paris, 1838—40.
Lippmann, E. v, Abhandl. und Vorträge zur Geschichte der Naturwissenschaften. Leipzig, 1906.
Lombardini, Elia, Dell origine e del progresso della scienza idraulica nel Milanese ed in altro parti d' Italia, Osservazioni storico-critiche. Memoire del R. Istituto Lombardo di scienze, lettere ed arti. Mailand, 1872.
Ludwig, H., L. d. V., Das Buch von der Malerei. Nach dem Codex Vaticanus (Urbinas) von 1270. Herausgeg., übers. und erläutert von Ludwig. Wien, 1882.
—, L. d. V., das Buch von der Malerei. Neues Material aus den Originalmanuskripten und dem Codex Vatic. von 1270. Eingeordnet v. H. Ludwig, 1885.

M.

Marx, Fr. Heinr., Über Marc-Antonio della Torre und L. d. V., die Begründer der bildlichen Anatomie, in „Abhandlungen der Kgl. Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen", 4. Bd., 1848/50.
Mentoe, F., La science grecque et la Rénaissance, Revue Scient, Bd. 7, S. 803.
Mély, F. de, Le Lapidaire d' Aristote in „Revue des Études Grecques". Paris, 1894.
Milanesi, C., Documenti inediti riguardanti L. d. V. Florenz, 1872.
Moerbeck, Wilh. v., Ottobonianus, Nr. 1850 vom Jahre 1502, Nr. 1514.
Morhof, D. G., Dissertationes u. s. w. Hamburg, 1699.
Müller, F., Zeittafeln zur Geschichte der Mathematik, Physik u. Astronomie bis 1500. Mit Quellenliteratur. Leipzig, 1892.

Müllerhoff, K., L. d. V. als Naturforscher. In „die Natur". Halle a. S., 1897.
Müller-Walde, L. d. V., Lebensskizze und Forschungen. München, 1889.
—, Zur Kenntnis L. d. V's. in „Jahrbuch der Kgl. Preuß. Kunstsammlungen". Berlin, 1907.
Müntz, Eugène, L. d. V., l'artiste le penseur, le savant. Paris, 1899.
—, L d. V. et les savants du moyen-âge. Revue scient, 1901.
—, L. d. V. et l'invention de la chambre noire. Revue scient, 1891.
—, La Renaissance en Italie et en France, 1885.
Muther, Rich., L. d. V. Berlin, 1903.

N.

Nitze, Ernst, Werke des Archimedes. Stralsund, 1824.
Noether, M., L. d. V., Il Codice Atlantico nella Biblioteca Ambrosiana di Milano. Eingehende Besprechung des Codex Atlanticus in „Literar. Centralblatt", Leipzig, Nr. 30-1894, Nr. 51-1895, Nr. 1-1896, Nr. 33-1896, Nr. 2-1897, Nr. 46-1897, Nr. 4-1900, Nr. 22-1902, Nr. 44-1903 und Nr. 19-1905.

O.

Omont, H., Fragments d'un manuscrit perdu des „Elements d'Euclide". Xe siècle in „Revue des Études Grecques". Paris, 1894.
Oppenheimer, Dr., Die Erfindung der Brille in „Zentralzeitung für Optik und Mathematik", 1908.
Opticae Thesaurus Alhazeni Libri VII a Freder. Risnero. Basileae, 1572.

P.

Paape, C., Über die Heimat der Arier und Ostgermanen. Schöneberg, 1906.
Pater, Walter, L. d. V. Übers. von Fr. Blei in „Die Insel". Berlin, 1901.
Peckham, Joh. (Die ihm zugeschriebene:) Perspectiva communis. (Die sich vollständig an die Optik des Ptolemäus anschließt; cf. Vogl's Roger Baco. S. 85 unten!) J tre libri della perspettiva commune dell' illustriss. et reverendiss. monsig. Giovanni Arcivescovo Canturiense. Nuovam. tradotti nella l. italiana accressinti di figure, & annotationi da Gio. Paolo Gallucci Salodiano. Venetia, 1593.
Piumati, Giov., „Codice Atlantico der Academica dei Lincei". Rom, 1891.
Poggendorff, J. C., Geschichte der Physik. Leipzig, 1879.
—, Bibliographisches-litterarisches Handwörterbuch zur Geschichte der exakten Naturwissenschaften. Leipzig, 1863.
Porro, Conte Giulio, L. d. V., libro di annotazioni e memorie 1881.
—, Cataloge dei Codici Manoscritti della Trivulziana. Turin, 1884.
Prantl, L. d. V. in philosophischer Beziehung, 1885.
—, Die Lehre vom Sehen bei den Alten.

R.

Raab, Fritz, L. d. V. als Naturforscher (Kollektion Virchow). Berlin, 1880.
Raffalovich, Marie, Studie über Aristoteles und L. d. V. im „Journal de St. Petersburg", 1891.

Ravaisson-Mollien, Les manuscrits de L. d. V. Paris, 1881.
—, Pages autographes et apocryphes de L. d. V. in: „Mémoires de la Soc. Nat. des Antiq. de France“, t. XLVIII und „Chronique des Arts“, 18. Juni 1888.
—, L. d. V. et l' enseignement du dessin in „Revue Bleue“, 12. Nov. 1887.
—, Les Écrits de L. d. V. in „Gazette des Beaux-Arts“, 1881.
Repetti, Dizionario geografico, fisico e storico della Toscana. Firenze, 1865.
Richter, J. P., Scritti litterari. The Literary Works of L. d. V. London, 1883.
—, L. d. V. im Orient; Versuch des Nachweises, daß L. im Orient gewesen ist, nach Handschriften in Windsor Castle und Institut de France. In „Zeitschr. für bildende Kunst“, herausgeg. von Prof. C. v. Lützow. Wien, 1881.
—, Lionardostudien in „Zeitschr. für bildende Kunst“, 1880.
—, Leonardo, The great artist. London, 1880.
Rigollot, Catalogue de l' œuvre de L. d. V. à Paris, 1849.
Rio, A. F., Léonard de Vinci et son école. Paris, 1855.
Risner, Opticae thesaurus Alhazeni. Basel, 1572. (cf. Opt. th.).
Rosenberg, Adolf, L. d. V. Leipzig, 1898.
Rosenberger, F., Geschichte der Physik, 1882—1890.
Rothlauf, Dr. B., Die Physik Platos. München, 1887.
Rudio, Über den Anteil der mathem. Wissensch. u. s. w. Hamburg, 1892.
Rulf, W., Zum Ovalrad des L. d. V., Monatsheft für „Mathematik und Physik“, (Eisensteins Verl.), 1898.

S.

Sabachnikoff, T., L. d. V. Codice sul volo degli uccelli.
—, J manoscritti di L. d. V. e note di Giov. Piumati. Par Ravaisson-Mollien. Paris, 1893.
Sachs, O., L. d. V. in „Wiener Rundschau“. Leipzig, 1900.
Saggio de l' opere, von Govi, Mongeri, Boitio. Mailand, 1872.
Schmidt, W., Pkysikalisches und Technisches bei Philon von Byzanz, in „Bibl. Mathem.“, 1901.
—, L. d. V. und Heron von Alexandrien, in „Bibl. Mathem.“, 1902.
—, Heron von Alexandrien. Leipzig, 1899.
—, Zur Textgesch. der Ochúmena der Archimedes, in „Bibl. Mathem.“, 1902.
Schnaase, L., Die Optik Alhazens. Pr. Stargard, 1889.
Schubarth's Repertor. der techn. Literatur, 1823—1873.
Scognamiglio, R., La vita d. L. d. V., t. I. La giovinezza. Neapel, 1900.
Séailles, Gabriel, L. d. V. l' artiste et le savant. Paris, 1892.
Seidlitz, W. v., Ambrogio Preda und L. d. V., in „Jahrbuch der kunsthistor. Sammlungen des allerhöchsten Kaiserhofes“. Wien, 1906.
—, L. d. V., Der Wendepunkt der Renaissance. Berlin, 1909.
Solmi, E., Sulla filosofia naturale di L. d. V. Modena, 1898.

Solmi, E., Nuovi studi sulla filosofia di L. d. V. Il metodo sperimentale. L' astronomia. La teoria della visione, Mantova, Accad. Virgiliana, Attie memorie, 1904—05.

—, Un manuscritto sconosciuto di L. d. V. Raccolta Vinciana (Milano) 2. 1906. Über ein verscholl. Manuskript: „Trattati di meccanica e geometria des L. d. V".

—, L. d. V. (Übers. von Emmi Hirschberg). Berlin, 1908. (Hierin eine Reihe von Angaben der Literatur über L. d. V., zum Teil aber sehr unbestimmt).

Spon, Recherches curieuses d' antiquité. Lyon, 1683.

Springer, L. d. V's. Selbstbekenntnisse.

—, Lionardofragen in „Zeitschr. für bild. Kunst", 1889.

—, Über den Phisiologus des L. d. V. in „Berichte über die Verhandhandlungen der Königl. Sächs. Ges. der Wissenschaften zu Leipzig", philosop.-histor. Klasse. Leipzig, 1885.

Sudhoff, K., Zur Anatomie L. d. V's. in „Arch. für Geschichte der Medizin". Leipzig, 1907.

Suter, H., Die Araber als Vermittler der Wissenschaften in dem Übergang von Orient zum Occident. Aarau, 1895.

—, Die Mathematik und Astronomie der Araber in „Abhandlungen zur Geschichte der mathem. Wissensch", X. Heft.

—, Das Mathematikerverzeichnis im Fihrist, 37. Suppl. d. Zeitschr. f. Math., Leipzig, 1892.

T.

Tannery, P., Über die Veröffentlichung „Codex Leidensis". 399, 1. Besthorn u. Heiberg, in „Bulletin des sciences mathématiques", 1893.

Thayer, W. R., L. d. V. as a peoneer in science, in „The Monist". Chicago, 1894.

Thurot, Chr., Recherches historiques sur le principe d' Archimède, in „Revue archéologiques", Nouvelle Série, Tome 19., 20., 1868 u. 1869.

Toni, Frammenti Vinciani. Venedig, 1896.

—, Il manuscritto H. d. L. d. V. et il Fiore di Virtù l' Acerba di Cecco d' Ascoli in „Archivio storico italiano", 1899.

U.

Unbekannter Verfasser, Breve vita di L. d. V., Scritto da anonimo del 1500. Manuskript, gefunden in der Bibliothek Magliabechi in Florenz, Milanesi, Archivio storico italiano, t. XVI, 1872.

Uzielli, Gustavo, Richerche intorno a L. d. V., 1. Teil, Turin, 1896, II. Teil, Rom, 1884.

—, L. d. V. e le Alpi Turin, 1889.

—, L. d. V. e tre Gentildonne Milanesi del secolo XV. Pignerol, 1890.

V.

Vasari, Giorgio, Vita di L. d. V., 1550 und 1567.

—, Aus dem Ital. v. L. Schurn. Stuttgart u. Tübingen, 1843.

Vasari, Edit. Sansoni mit Bemerkungen u. Kommentaren von Milanesi, 1878—1885.

Venturi, J. B., Essai sur les Ouvrages Physico-Mathématiques de L. d. V. Paris, 1797.

—, Commentarij sopra la storia e la teoria dell' Ottica. Tomo primo. Bologna, 1814.

Vogl, Sebastian, Die Physik Roger Bacos. Erlangen, 1906.

—, Unveröffentliche Manuskripte über al Kindî.

—, Über die (Pseudo) Euklidische Schrift „de Speculis", in „Arch. für Gesch. d. Naturw. u. d. Techn.", I. Bd. Leipzig, 1909.

W.

Waagen, G. F., L. d. V.-Album. Berlin, 1861.

Waard, C. de, De uitvinding der vernekijkers. Haag, 1906.

Wagner, F. B., Das Wissen und Können L. d. V's. Oster-Programm der Chemnitzer techn. Lehranstalt, 1895.

Whewell, Geschichte der induktiven Wissenschaften. Übersetzt v. Littrow, 1840.

Wiedemann, E., Über die Optik Ibn al Haiṯams in „Bulletino di Boncampagni", 1881.

—, Bemerkungen zu Barmanns Artikel „Über das Licht von Ibn al Haiṯam" (vergl. Zeitschr. d. deutsch-morgenl. Ges., Bd. 36, 1882, S. 195—237) in der Zeitschr. d. deutsch-morgenl. Ges., Bd. 38, 1884, S. 145—148.

—, Über physikalische Aufgaben bei Elia Misrachi, Monatsschr. 54. Jahrgang.

—, Aufsätze über Ibn al Haiṯam und über die Naturwissenschaften bei den Arabern in „Pogg. Ann." 159, S. 656; Wiedem. Ann. **1**, S. 480; **4**, S. 320; **7**, S. 368; **17**, S. 350 u. 1043; **20**, S. 337 u. 539; **21**, S. 541; **39**, S. 110, 319, 470, 565.

—, Über die Naturwissenschaften bei den Arabern in „Sammlung gemeinverständl. wissensch. Vorträge", Hamburg, 1890.

—, Über das Licht der Sterne in „Wochenschr. f. Astronomie, Meteorologie u. Geographie", 1890, Nr. 17.

—, Über das Experiment im Altertum u. Mittelalter im „Unterrichtsblatt f. Mathematik u. Naturw.", 1906, Nr. 4—6.

—, Ibn al Haiṯam in d. „Festschrift für Rosenthal", Leipzig, 1906.

—, Über die Lage der Milchstraße bei Ibn al Haiṯam, in „Zeitschr. f. populäre Astronomie ‚Sirius'", Heft 5, 1906.

—, Über das al Bêrûnîsche Gefäß z. spez. Gewichtsbestimmung, „Verhandl. d. Deutsch-Physik. Ges.", Braunschweig, IX. Jahrg., 1908, S. 339.

—, Zur Gesch. d. Kompasses bei den Arabern in „Verhandlungen der Deutsch-Physik. Ges.", Braunschweig, IX. Jahrg., 1908, S. 764.

—, Kleinere Mitteilungen, in „Archiv f. d. Gesch. d. Naturw. u. Technik", Bd. 1. 1909.

—, Beitrag über die Camera obscura in „Eders Jahrb. d. Photographie", Wien, 1910.

—, Über die Zeichen für die Planeten u. s. w. auf Astrolabien, in „Byzantin. Zeitschr.", XIX, 1 u. 2., 1910.

Wiedemann, Über die Erfindung der Camera obscura, „Verhandl. d. Deutsch-Physik. Ges.“, Braunschweig, XII. Jahrg., Nr. 4, 1910, S. 168.

—, Beiträge der Gesch. d. Naturwissenschaften in „Sitzungsberichten der Physikalisch-Medizinischen Sozietät in Erlangen“:

I. Beiträge zur Geschichte der Chemie bei den Arabern, Bd. 34, 1902.
II. Studien zur Geschichte Galileis, eine Zusammenstellung; Bd. 36, 1904.
III. Sechs Einzelabhandlungen, Bd. 37, 1905.
IV. Über Wagen bei den Arabern, Bd. 37, 1905.
V. Auszüge aus arab. Enzyklopädien u. anderes, Bd. 37, 1905.
VI. Zur Mechanik u. Technik b. d. Arabern, Bd. 38, 1906.
VII. Über arab. Auszüge aus d. Schrift d. Archimedes über die schwimmenden Körper, Bd. 38, 1906.
VIII. Über Bestimmungen der spez. Gewichte, Bd. 38, 1906.
IX. Zu d. Astronomie b. d. Arabern, Bd. 38, 1906.
X. Zur Technik b. d. Arabern, Bd. 38, 1906.
XI. Über al Fârâbis Aufzählung der Wissenschaften (De scientiis), Bd. 39, 1907.
XII. Über Lampen und Uhren, Bd. 39, 1907.
XIII. Über eine Schrift v. Ibn al Haitam „Über die Beschaffenheit d. Schatten“, Bd. 39, 1907.
XIV. Über die Geometrie u. Arithmetik nach den Mafâtih al Ulûm, Bd. 40, 1908.
XV. Über die Bestimmung der Zusammensetzung von Legierungen, Bd. 40, 1908.
XVI. Über d. Lehre vom Schwimmen, die Hebelgesetze u. die Konstruktion des Qarastûn, Bd. 40, 1908.
XVII. Kleinere Abhandlungen von Ibn al Haitam, Bd. 41, 1909.
XVIII. Zur Trigonometrie und Geodäsie, Bd. 41, 1909.

Wilde, E., Geschichte der Optik. Berlin, 1838.

Winter, M., Über Avicennas Opus egregium de anima (Liber sextus naturalium). Grundlegender Teil. München, 1903.

Wohlwill, E., Hat L. d. V. das Beharrungsgesetz gekannt? Hamburg, 1889.

—, Die Entdeckung des Beharrungsgesetzes in „Zeitschrift für Völker psychologie und Sprachwissenschaft“, 1883.

Wolff, L. d. V. als Ästhetiker. Straßburg, 1902.

Wolynsky, L. d. V. Petersburg, 1900. (Russisch.)

Wüstenfeld, Geschichte der arabischen Ärzte und Naturforscher. Göttingen, 1840.

—, Die Übersetzungen arabischer Werke ins Latein. seit dem 11. Jahrhundert; in „Abhandlungen der k. Gesellschaft zu Göttingen“, 1877.

Y.

Yriate, C., César Borgia, sa vie, sa captivité, sa mort, d' après de nouveaux documents des dépôts des Romagnes, de Simancas et des Navarres. Paris, 1880.

Vorwort.

Die folgende, von Herrn Professor Dr. Eilhard Wiedemann in Erlangen angeregte Arbeit soll sich mit den physikalischen Leistungen Leonardo da Vincis beschäftigen. Bei dem großen Umfang seiner Tätigkeit konnte aber nicht das Gesamtgebiet in dem Rahmen dieser Arbeit behandelt werden. Ich habe daher zunächst seine Forschungen auf dem Gebiete der Mechanik nicht mit berücksichtigt, trotzdem die letztere offenbar Leonardo ganz außerordentlich sowohl nach der theoretischen wie nach der experimentellen Seite beschäftigt hat. Die Frage, ob Leonardos Lehren auf diesem Gebiete der Physik originell sind oder nicht, hat zur Zeit noch keine definitive Erledigung gefunden. Ungemein zahlreiche Betrachtungen über Wage, Hebel, schiefe Ebene u. s. w. bezeugen sein reges Interesse für die Anwendungen der allgemeinen mechanischen Prinzipien. Weiterhin sprechen für die Vollkommenheit, mit der Leonardo die Lehre von den einfachen Maschinen beherrschte, die durchgeführten und geplanten Konstruktionen von Kriegsmaschinen, Hebezeugen u. s. w.

Bei der oben angeführten Beschränkung handelt es sich für uns wesentlich um Leonardos Forschungen auf dem Gebiete der Optik, das er mit Vorliebe bearbeitet hat, und das ihm neben der Mechanik besonders nahe lag. Es soll sich daran eine Besprechung seiner Arbeiten auf dem Gebiete der Wärme, der Akustik und des Magnetismus anschließen.

Die letzteren Gebiete sind naturgemäß dem Stande der Kenntnisse seiner Zeit entsprechend nur ganz gelegentlich von ihm erörtert worden. Angaben, die sich auf elektrische Erscheinungen beziehen, fehlen bei ihm.

Eine Hauptaufgabe der Arbeit soll sein, zu untersuchen, wie Leonardo von seinen Vorgängern auf den einzelnen Gebieten abhängig ist. Erst dadurch wird es möglich sein, seine eigenartige Stellung in der Geschichte der exakten Wissenschaften richtig zu würdigen. Wir werden sehen, daß bei ihm, wie bei allen großen Gelehrten, die Leistungen durch die Errungenschaften früherer Epochen bedingt sind, und daß er andererseits infolge seiner eigenartigen Veranlagung als Künstler, der intuitiv Zusammenhänge der Dinge erfaßt, die Wissenschaft gefördert hat. Darin gleicht er in vielem Goethe.

Meinen Studien habe ich zunächst den „Codex Atlanticus“ in der Ausgabe der Accademia dei Lincei, über den später noch zu handeln sein wird, den „Trattato della pittura“ und die von Ravaisson-Mollien herausgegebenen „Pariser Manuskripte“ in ihrer Gesamtheit zugrunde gelegt; ich habe dann noch benutzt den „Codice sul volo degli uccelli“, den Sabachnikoff in hochherziger Weise auf seine eigenen Kosten herausgegeben hat, den „Codice Trivulzio“, von Luca Beltrami herausgegeben, und die bis jetzt im Faksimile reproduzierten, jedoch noch nicht behandelten Londoner Manuskripte und zwar letztere in bezug auf die Figuren und einige besonders interessante Stellen. Eine Transkription dieser Stellen, die zu einem ausgiebigen Studium erforderlich gewesen wäre, würde so viel Zeit erfordert haben, daß ein Abschluß der Arbeit nicht abzusehen gewesen wäre. Ich habe mich daher für sie hauptsächlich an J. P. Richter's „The literary works of Leonardo da Vinci“ gehalten. Es sei hier darauf hingewiesen, daß die Codices mit Ausnahme des „Trattato della pittura“ und des „Codice sul volo degli uccelli“ keine zusammenhängenden Werke im heutigen Sinne darstellen, sondern zum allergrößten Teile aus einzelnen losen Blättern ohne Zusammenhang bestehen, die wiederum ohne jeglichen Zusammenhang mit den verschiedenartigsten Aufzeichnungen und Figuren bedeckt sind. Nur ab und zu, z. B. im „Pariser

Manuskript D“, ist auf einer oder mehreren Seiten hintereinander von einem einzigen Gegenstande die Rede. Die Codices waren für Leonardo ursprünglich teils Notizblätter, teils Notizbücher, in die er seine Gedanken eintrug oder Abschriften aus anderen Werken machte. Eine umfassende Einordnung nach den einzelnen Materien erscheint kaum möglich und würde wohl für fast jede Materie eine besondere Lebensaufgabe sein. Nur sehr wenige Spezialarbeiten sind bis jetzt vorhanden, und hierbei kaum eine, die wieder sämtliche Codices umfaßt. Dagegen sind fast unzählige Aufsätze und kurze Abhandlungen über Einzelheiten erschienen. Indeß übergehen Spezialarbeiten, die sich z. B. mit der geschichtlichen Entwicklung von Instrumenten, physikalischen Apparaten oder Arbeitsweisen befassen, meist die Arbeiten Leonardos auf dem betreffenden Gebiete, ein Beweis, wie notwendig es ist, das schon von anderer Seite bei der Klarlegung und Würdigung seiner Verdienste, so auf dem Gebiete der Technik Geleistete weiter zu fördern.

Zum Schlusse dieses Vorwortes drängt es mich, Herrn Professor Dr. Eilhard Wiedemann in Erlangen, der mich zu der vorliegenden Arbeit anregte und mir während ihrer Anfertigung andauernd mit Rat und Tat zur Seite stand, meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Nicht unterlassen möchte ich ferner, Herrn Professor Dr. Noether in Erlangen für das mir gütigst überlassene reichhaltige Material aus dem Codex Atlanticus, das mir von hohem Werte war, und Herrn Dr. Vogl, München, für die Mitteilung seiner Studien über die Werke al Kindîs und seine sonstigen Ratschläge auf das verbindlichste zu danken.

Es ist mir ferner eine angenehme Pflicht, Herrn Geheimrat Professor Dr. A. Harnack, Herrn Geheimrat Dr. Ippel und Herrn Oberbibliothekar Dr. Zucker, die mir in liebenswürdigster Weise Werke der ihnen unterstellten Bibliotheken zur Verfügung stellten und dadurch meine Arbeit wesentlich gefördert haben, hier zu danken. Letzterer war auch so gütig, die Arbeit vor dem Drucke einer Durchsicht zu unterziehen und mir einzelne Winke bei der Übersetzung zu geben.

Auch meinen Freunden, den Herren Dr. H. Gerstmann und L. Dietz, Berlin, sei hier mein Dank für die zahlreichen Anregungen und Unterstützungen bei dem Studium Leonardos und seiner Werke, sowie bei den Übersetzungen gesagt.

Der eifrigen Mithelferin an dieser Arbeit, meiner lieben Frau, ist aus Dankbarkeit dies Werk gewidmet.

Einleitung.

Um einen Einblick in die Entwicklung der Tätigkeit Leonardos auf unserem Gebiete zu erhalten, ist es notwendig, in kurzen Worten auf den Stand der Wissenschaften, besonders der Physik, zu der Zeit einzugehen, in der Leonardo lebte.

Im allgemeinen nimmt man das Jahr 1400 als den Zeitpunkt an, mit dem die neuere Physik beginnt, während in der mittelalterlichen Scholastik der Abschluß der alten Physik gegeben ist. Wenn auch vor dem genannten Zeitpunkte im Abendlande die sonst allgemein herrschende deduktive Methode in vereinzelten Fällen durchbrochen wurde, z. B. durch einen Roger Baco[1]), so kann doch erst nach dieser Zeit von einer neueren Physik gesprochen werden, da jetzt erst die induktive Methode zu allgemeiner Anwendung gelangt und mittels geeigneter Instrumente allgemeine Gesetze und Regeln aus den Beobachtungen in Verbindung mit den theoretischen Betrachtungen entwickelt werden.

Nicht wie bei Roger Baco ist bei Leonardo von Ansätzen des Experimentes zu sprechen, sondern von letzterem selbst. Wenn auch Leonardo zuweilen ganze Stellen aus scholastischen und antiken physikalischen Schriften mitteilt, so handelt es sich um Zitate von Vorgängern, deren Namen er zuweilen beisetzt, die aber auch bei etwaiger Weglassung leicht zu erkennen sind. Daher hat er sich vielfach von den Arbeitsmethoden des Humanismus und des Scholastizismus freigemacht[2]).

Im folgenden werden, wie bereits eingangs gesagt, Leonardos Arbeiten auf dem Gebiete der Physik, speziell der Optik, unter möglichster Berücksichtigung der Leistungen seiner Vorgänger behandelt. Um auch Späteren ein unbefangenes Urteil über Leonardo zu ermöglichen, ohne zu den Quellen zurückzugreifen, sollen in den meisten Fällen seine eigenen Worte

[1]) Vergl. Vogl, Roger Baco, Erlangen, 1906.

[2]) Cf. Séailles, L. d. V., l'artiste et le savant, Paris, 1892, 1. Kapitel.

italienisch mitgeteilt werden[1]), die durch kleinen Druck kenntlich gemacht sind.

Die im vorliegenden Werke angeführten Aussprüche Leonardos sind zum allergrößten Teile in deutscher Übersetzung wiedergegeben worden. Ich darf aber hier darauf hinweisen, daß es häufig nur „Übersetzungsversuche" sind, was diejenigen verstehen werden, die sich mit Leonardo eingehend befaßt und seine Werke studiert haben. Denn seine ganze Schreibart ist sehr verschiedenartig, teils peinlich eingehend, teils aber recht flüchtig, sei es nun, daß manche Stelle in den Codices gelitten hat, sei es, daß sie nur eine flüchtige Notiz Leonardos war, sehr oft fehlen aber Buchstaben, Worte, sogar ganze Sätze. Auch ist zu bedenken, daß die Schreibart und Ausdrucksweise seiner Zeit eine andere war, als die jetzige, und daß außerdem durch seine Gewohnheit, in Spiegelschrift zu schreiben, sich vielfach Schreibfehler eingeschlichen haben.

Stets sind die m. E. treffendsten Stellen textlich angeführt und übersetzt worden, während ähnliche oder gleichlautende nur abgeschrieben oder aufgezählt sind.

Die folgenden Ausführungen stützen sich nicht nur auf die von Leonardo in Worten aufgestellten Resultate, sondern auch auf die zuweilen ohne jegliche Bemerkung von ihm gezeichneten Figuren.

Die mitgeteilten Figuren sind teils direkt nach Photographien hergestellt, teils durch Zeichnung, sei es nach diesen, sei es nach dem Original genommen.

Ich bin mir wohl bewußt, daß mancherlei Ergänzungen sich auf Grund weiterer Quellenforschungen noch ergeben werden, vor allem dann, wenn einmal die sämtlichen Werke Leonardos in bequemen Ausgaben zugänglich sind.

Die vorliegende Arbeit zerfällt in drei Abschnitte, in denen behandelt werden:

1. Leonardos Bildungsgang.
2. Die Quellen seiner Physik, und zwar für die uns interessierenden Gegenstände.
3. Seine Physik selbst.

---

[1]) Dabei ist die Orthographie der einzelnen Herausgeber benutzt worden, wodurch es häufig scheint, als ob sich Druckfehler eingeschlichen hätten.

I. Abschnitt.

Leonardos Bildungsgang.

1. Kapitel.

Sein Leben.

Nur ganz Weniges sei über Leonardos Leben, soweit es zum Verständnis nötig ist, mitgeteilt:

Im Jahre 1452 wurde er als der natürliche Sohn des Ser Piero da Vinci, Notars der Signoria von Florenz, auf dem Kastell Vinci bei Empoli in Italien geboren. Seine Mutter war ein Landmädchen namens Caterina, die später einen gewissen Accatabriga di Piero del Vacca geheiratet hat[1]). Dies sind die einzigen bekannten Angaben über seine Mutter, und letztere verschwindet dann ganz aus der Geschichte des Sohnes.

Leonardo wurde kurz nach der Geburt von seinem Vater legitimiert und verbrachte die ersten Jahre seines Lebens im Hause seines Großvaters. Sein Vater heiratete übrigens standesgemäß und zwar im selben Jahre, in dem Leonardo zur Welt gekommen war. Als Leonardos Vater im Jahre 1469 nach Florenz übersiedelte, nahm er ihn zu sich. Nachdem Ser Piero zweimal kinderlos verheiratet gewesen war, und zwar in erster Ehe mit Albiera, Tochter des Giovanni Amadori, in zweiter Ehe mit Francesca Lanfredini, ging er mit Margherita, Tochter des Francesca (sic) di Jacopo, eine dritte Ehe ein[2]), aus der im Jahre 1476 ein Sohn, namens Antonio, entsproß. Leonardo war also schon 24 Jahre alt, als der erste legitime

---

[1]) Vergl. Müller-Walde, Leonardo da Vinci, München 1889, S. 6, und Grothe, Leonardo da Vinci, 1874, S. 9, denen Gustavo Uzielli in seinem Werke: Ricerche intorno a Leonardo da Vinci (1872), als Quelle gedient hat.

[2]) Vergl. Solmi, L. d. V., Berlin, 1908, S. 3ff.

Sohn geboren wurde; es ist ihm daher die meist geringschätzige Behandlung des illegitimen Kindes neben dem legitim geborenen erspart geblieben.

Aus der dritten Ehe Ser Pieros stammen noch weitere vier Kinder, denen sich außerdem noch fünf Kinder aus einer vierten Ehe mit Lucrezia Cortigiani zugesellen.

Daß seine Erziehung eine ausgezeichnete war, ist aus allen seinen Werken im reichlichsten Maße zu entnehmen, dabei ist der Einfluß der griechischen Gelehrten, die nach Einnahme Konstantinopels durch die Türken (1453) nach Italien geflüchtet waren und zur Verbreitung der klassischen Wissenschaften hervorragend beitrugen, deutlich zu erkennen. Den reichen Anregungen seiner Jugend entspricht seine spätere vielseitige Tätigkeit.

Der damaligen Zeit folgend pflegte er besonders die schönen Künste: Malerei, Bildhauerei, Goldschmiedekunst, Teppichweberei u. s. w.

In die Industrie von Florenz bekam Leonardo ebenfalls einen tiefen Einblick und widmete sich in hervorragendem Maße der Architektur. Es muß noch hervorgehoben werden, daß er der Kriegswissenschaft große Aufmerksamkeit zuteil werden ließ und, wie aus seinem Briefe an Lodovico Sforza hervorgeht, in allen diesen Künsten sehr erfahren war. Von Interesse ist es auch, seine Arbeiten über Verbesserung der Schiffahrtswege, Entwässerung von Sümpfen, Berieselung öder Landstrecken und Herstellung von Wasserleitungen kennen zu lernen.

Von dem Streben, die hierzu nötigen Grundelemente und Konstruktionen vollkommen zu beherrschen, liefern uns die zahlreichen Zeichnungen in den verschiedenen Codices mannigfache Beweise.

Leonardos Leben war ein unstätes, da er bald hier, bald dort anzutreffen war und kaum jemals längere Zeit seine Dienste ein und demselben Herrscher widmete. 1482 kam er nach Mailand an den Hof des oben genannten Fürsten. Letzterer gründete eine Akademie und betraute besonders Leonardo mit den zu einer solchen Gründung nötigen Arbeiten. Wahrscheinlich machte er zu seinen Vorträgen an dieser

Akademie einzelne Aufzeichnungen und Ausarbeitungen, aus denen sich der Codex Atlanticus und andere Manuskripte entwickelt haben mögen.

Von Mailand ging er 1499 oder 1500 nach Florenz zurück, da Lodovico Sforza dem Vordringen Ludwigs XII. von Frankreich nicht stand halten konnte. Nachdem Leonardo 1502 für Cesare Borgia als Kriegsingenieur tätig gewesen war und für ihn verschiedene Reisen gemacht hatte, kehrte er 1507 auf 5 Jahre nach Mailand zurück. 1513 war er in Rom und kam dort mit Michelangelo und Raffael in Berührung.

Seine beiden letzten Lebensjahre verbrachte er in Amboise in Frankreich, wohin ihn König Franz I. eingeladen hatte; am 2. Mai 1519 ist er dort gestorben. Sein Grabmal befindet sich in der Kirche St. Florentin in Amboise und soll längere Zeit verschollen gewesen sein. Erst 1863 ist dessen Stelle allgemein bekannt geworden, worauf ihm Napoleon III. dort ein Denkmal setzte. In Italien selbst, und zwar in Mailand, erhielt er ein solches im Jahre 1871.

2. Kapitel.

Leonardos Lehrer und Zeitgenossen.

Eine nicht zu unterschätzende Schwierigkeit bei der Beurteilung des Wissens und Könnens Leonardos bietet die Frage: Wem verdankt Leonardo in der Hauptsache seine geistige Ausbildung? Leider besitzen wir hierüber keinen Ausspruch Leonardos selbst, auch gehen die Ansichten der Schriftsteller, die sich mit Leonardo befaßt haben, stark auseinander. Es ist daher gar nicht möglich, sich schon jetzt ein abschließendes Urteil zu bilden. Aus diesem Grunde seien die hauptsächlichsten Lehrer und Zeitgenossen hier angeführt in der Reihenfolge, in der sie Leonardo selbst entgegentreten [1]).

Nachdem sein Vater Ser Piero von Vinci nach Florenz übergesiedelt war, erhielt Leonardo in der berühmtesten Schule von Florenz, der Scuola d'Abbaco, seinen ersten wissenschaft-

---

[1]) Vergl. hierzu: Müller-Walde, Solmi, Herzfeld u. s. f.

lichen Unterricht, und zwar besonders in der Mathematik. Hier tritt

Benedetto dell' Abbaco[1]), 1432 in Florenz geboren, genannt Benedetto Aritmetico, in seinen Gesichtskreis.

Dieser ist einer der größten Florentiner Mathematiker des 15. Jahrhunderts[2]) und soll außerdem in den bedeutendsten Zweigen der Industrie und des Handels sehr erfahren gewesen sein. Da wir aus Leonardos Werken wissen, daß auch er großes Interesse an Industrie und Handel gehabt hat, so dürfte hier wohl Benedettos Einfluß auf Leonardo mit Recht zu erkennen sein.

Benedetto ist der Urheber einer großen Anzahl von „Trattati d'abbaco", die nach Solmis Angaben[3]) ungedruckt in der Biblioteca Magliabechiana zu Florenz und in der Biblioteca Communale zu Siena aufbewahrt werden.

In der Scuola d'Abbaco soll sich Leonardo dem Studium der Bücher: „Liber abaci" von Fibonacci (das ist „Leonardo Pisano", ungef. 1202)[4]), und: „Elementa" von Euklid gewidmet haben.

Es wird ferner von ihm erzählt, er habe dem Lehrer, der ihn unterrichtete, soviele Zweifel entgegengestellt und ihm soviele Schwierigkeiten gemacht, daß er ihn oft vollständig verwirrte[5]).

Alsdann besuchte Leonardo das Atelier des Malers Andrea del Verrocchio, dem Ser Piero vorher die Skizzen und Zeichnungen Leonardos vorgelegt haben soll, um ein Urteil über dessen künstlerisches Talent zu erhalten. Verrocchio soll erstaunt gewesen und in Ser Piero gedrungen sein, dem Talent seines Sohnes nichts in die Wege zu stellen[6]).

Andrea Cione del Verrocchio (1435—1488) ist nicht

---

[1]) Im C.-A., fol. 12 v—a, nur namentlich erwähnt.

[2]) Vergl. Solmi, L. d. V., Berlin, 1908, S. 15.

[3]) Ib. l.

[4]) Vergl. Libri, Histoire des s. m. en Italie, Paris, 1840, II. Teil, S. 20 ff., und Cantor, Geschichte der Mathematik.

[5]) Vergl. Vasari, Vita di L. d. V., 1550, und Schorn's Übersetzung von Vasari: Leben der ausgezeichnetsten Maler, Bildhauer nnd Baumeister. Stuttgart-Tübingen, 1843.

[6]) Vergl. Solmi, L. d. V., Berlin, 1908, S. 8.

allein Goldschmied, Holzschnitzer, Bildhauer und Maler gewesen, er war auch ein Gelehrter auf dem Gebiete der Mathematik, besonders der Geometrie und der Perspektive und beschäftigte sich vielfach mit der Optik.

Ein solcher Lehrer mußte auf einen Schüler mit den Gaben Leonardos einen sehr großen Einfluß ausüben.

Aus der Jugendzeit Leonardos ist weiterhin der Hellenist Giovanni Argiropulo[1]) (1416—86) zu nennen, der von 1456—1472 in Florenz lebte. Dieser ist ein hervorragender Kenner der peripatetischen Philosophie[2]), Übersetzer der „Physica" und der Schrift „De coelo" des Aristoteles gewesen.

Wohl zu gleicher Zeit hatte Leonardo einen freundschaftlichen Verkehr mit dem berühmten Florentiner Physiker Paolo dal Pozzo Toscanelli (1397—1482), der nach M. Jacobis[3]) Ansicht der intellektuelle Entdecker von Amerika ist. Toscanellis Einfluß auf Leonardo soll nach Séailles[4]) nicht sicher festzustellen sein, und zwar schon deswegen, weil sein Name nirgends in Leonardos Werken erwähnt wird. Das Gegenteil behauptet Müller-Walde[5]), und auch Solmi[6]) spricht von der Freundschaft Toscanellis und Leonardos, die doch gewiß nicht ohne Einwirkung auf den letzteren geblieben ist. Ja auch die angebliche Nichterwähnung des ersteren ist nicht richtig, denn da wir wissen, daß Toscanelli nicht nur Mathematiker, Geograph und Astronom, sondern auch Arzt war, so bezieht sich höchst wahrscheinlich die Stelle im Codex Atlanticus, fol. 12 v-a, auf diesen, da es dort im Urtext heißt: „Maestro pagholo Medico," also „Meister Paolo, der Arzt".

Zwar sind in Leonardos Werken noch zwei weitere Männer erwähnt, die den Namen „Paolo" haben, jedoch handelt es sich dabei um Paolo Uzielli, der aber nicht Arzt gewesen ist, und um einen gewissen Paolo Imferieri, einen sonst

---

[1]) Im C.-A., fol. 12 v—a, nur namentlich erwähnt.

[2]) Vergl. Solmi, L. d. V., Berlin, 1908, S. 14 und 16.

[3]) Vergl. Jacobi, „L. d. V. in seiner Bedeutung für die Naturwissenschaften" in „Weltall", Berlin, 1903/04, S. 320, sowie besonders Müller-Walde, L. d. V., München, 1889, S. 28.

[4]) Vergl. Séailles, L. d. V., l'artiste etc., Paris, 1892, S. 251.

[5]) Vergl. Müller-Walde, l. c., S. 28.

[6]) Vergl. Solmi, L. d. V., Berlin, 1908, S. 15 und 16.

nirgends erwähnten und von sämtlichen Schriftstellern, die über Leonardo geschrieben haben, niemals angeführten Mann. Es dürfte somit die Annahme, daß es sich im erstgenannten Fall wirklich um Paolo Toscanelli handelt, die richtige sein. Von großem Wert sind die Forschungen Mario Barattas [1]), der eine Reihe von Aussprüchen und Aufzeichnungen Leonardos meteorologischen Inhalts mit denen Toscanellis nach dem berühmten Werke Uziellis [2]) vergleicht und hierbei ebenfalls zu der Überzeugung gelangt, daß Toscanelli einen ganz wesentlichen Einfluß auf Leonardo ausgeübt hat.

Einer der berühmtesten und zu Leonards Zeiten bekanntesten Gelehrten ist:

Leon Battista Alberti (1404—1472).

Wegen ihrer Ähnlichkeit als Gelehrte und Künstler bezeichnen die meisten Schriftsteller Battista Alberti als den Vorläufer Leonardos [3]). Aber wenn ihn auch Leonardo an mehreren Stellen seiner Schriften erwähnt, so ist es dennoch nicht leicht, aus den Literaturquellen nachzuweisen, ob Leonardo sein Schüler gewesen ist, oder ob er ihn nur flüchtig gekannt hat. Jedenfalls hat er seine Werke auf das eingehendste studiert und ganz wesentlich benutzt. Denn wir wissen, daß Alberti sich mit großem Ernste mathematischen und physikalischen Studien hingegeben hat und ein für seine Zeit sehr umfassendes Wissen besaß [4]). Seine hauptsächlichsten Werke sind: „Trattato della pittura“, „De re aedificatoria“, „Opere volgari“, sowie die uns am meisten interressierenden: „Ludi matematici“ und „Liber navis“. Auf die letzteren haben mehrere Stellen in Leonardos Werk Bezug [5]).

Von Alberti stammt ein Hygrometer [6]), bei dem an einer

---

[1]) Baratta, L. d. V. ed i Problemi della Terra, Turin, 1903, S. 3, 33—34, 39, 39, 48, 49 und 52.

[2]) Uzzielli, La vita ed i tempi di Paolo Dal Pozzo Toscanelli, richerche e studi, Rom, 1894.

[3]) Solmi, L. d. V., Berlin, 1908, S. 47 und 274.

[4]) Springer, L. B. Alberti, in: „Bilder a. d. neueren Kunstgeschichte“, Bonn, 1886, S. 257—296.

[5]) Z. B. M.-F, v. im Deckel und fol. 82 r; M.-G, fol. 54 r; Leic., fol. 13 a (letztere nach J. P. Richter, Scritti litterari, London, 1883, § 1472.)

[6]) Baratta, L. d. V. ed i Probl. d. Terra, Turin, 1903, S. 93.

Wage ein trockener Schwamm aufgehängt war, um durch das zunehmende Gewicht dieses Schwammes die Feuchtigkeit zu messen, sowie eine Art Camera obscura[1]), mit deren Hilfe er einem größeren Zuschauerkreise Projektionsbilder gezeigt haben soll.

3. Kapitel.

Leonardos wissenschaftlicher Standpunkt.

Die Stellung Leonardos zur Wissenschaft läßt sich dadurch charakterisieren, daß, wenn er auch in einzelnen Dingen zur Anschauung der Scholastiker hinneigt, dies nur in verschwindend kleinen Bruchstücken seiner Werke hervortritt. Er wendet sich aber gegen die Scholastiker, indem er sagt: „Wer disputiert, indem er sich auf die Autorität beruft, benutzt nicht den Geist, sondern vielmehr das Gedächtnis“[2]).

Daß er das Experiment ganz besonders hochschätzte, geht aus mehreren Stellen in dem eben angeführten Codex Atlanticus hervor, es sei z. B. auf fol. 86 r—a und 154 r— b und c des C.—A. hingewiesen, von welchen Stellen Marie Herzfeld[3]) folgende Übersetzung gibt: „Das Experiment, Dolmetsch zwischen der kunstreichen Natur und der menschlichen Spezies, lehrt uns, was schon selbige Natur unter den Sterblichen anwendet, daß man, von der Notwendigkeit gezwungen, nicht anders wirken könne, als wie die Vernunft, ihr Steuer, sie zu wirken lehrt“[4]). Und:

„Das Experiment irrt nie, sondern es irren nur eure Urteile, die sich von jener eine Wirkung versprechen, die in unseren Erfahrungen nicht begründet ist. Denn, ein Anfang erst gegeben, ist es notwendig, daß jenes, was hierauf kommt, die wahre Folge solchen Anfanges sei, wenn es nicht eher schon (gestört und) behindert wurde; und wenn auch eine

---

[1]) Gerland u. Traumüller, Gesch. d. phys. Experimentierkunst, Leipzig, 1899, S. 84.

[2]) C.-A., fol 76 r-a: „Chi disputa allegando l' alturità, non adopra lo 'ngegno, ma più tosto la memoria“.

[3]) Marie Herzfeld, L d. V., der Denker, Forscher und Poet, 2. Aufl., Jena, 1906, S. 4.

[4]) „La sperienzia, interpetre infra l' artificiosa natura e la umana spezie, ne 'nsegna ciò che essa natura infra mortali adopra, da necessità constretta, non altrimenti oprar si possa, che la ragione, suo timone, oprare le 'nsegni.“

Behinderung da war, — die Wirkung, welche aus vorbesagtem Anfang hervorgehen sollte, nimmt um so viel mehr oder weniger an genannter Behinderung teil, als selbige mehr oder etwa weniger machtvoll ist als der schon erwähnte Anfang . . . Die Erfahrung irrt nicht, doch es irren bloß unsere Urteile, von ihr sich Dinge versprechend, die nicht in ihrer Macht sind.

Mit Unrecht beklagen sich die Menschen über die Erfahrung, die sie mit höchsten Vorwürfen beschuldigen, trügerisch zu sein. Aber lasset selbige Erfahrung nur stehen und kehret solche Lamentation wider eure Unwissenheit, die euch dazu übereilen läßt, mit euern eiteln und törichten Wünschen euch von jener Dinge zu versprechen, die in eurer Macht nicht sind, sagend, sie sei trügerisch . . . Mit Unrecht beklagen sich die Menschen über die unschuldige Erfahrung, diese häufig falscher und lügenhafter Demonstrationen beschuldigend[1]).“

Es seien hier noch einzelne Ansichten einiger Schriftsteller, die sich viel mit Leonardo und seinen Werken beschäftigt haben, über seinen wissenschaftlichen Standpunkt angeführt:

Séailles schreibt: „Leonardo war ein Moderner, jenseits des Humanismus“[2]).

Nach Müntz[3]) schätzte Leonardo die „verstaubten Akten“, die von der Scholastik herrührten, sehr gering. Er habe enorm

---

[1]) „La sperienzia non falla mai, ma sol fallano i vostri giudizi promettendosi die quella effetto tale che in e nostri experimenti causati non sono. Perchè, dato un principio, è necessario che ciò che siguita di quello è vera conseguenza di tal principio, se già non fussi impedito, e se pur seguita alcuno impedimento, l' effetto che doveva seguire del predetto principio, partecipa tanto più o meno del detto impedimento, quanto esso impedimento è più o men potente del già detto principio . . . La esperienza non falla, ma sol fallano i nostri giudizi promettendosi di lei cose che non sono in sua potestà.

A torto si lamentan li omini della isperienza, la quale con somme rampogne quella accusano esser fallace. Ma lasciano stare essa sperienzia, e voltate tale lamentazione contro alla vostra ignoranza, la quale vi fa transcorrere co' vostri vani e instolti desideri a imprometteryi di quella cose che non sono in sua potenzia . . . A torto si lamentan li omini della innocente esperienzia, quella spesso accusando di fallacia, e di bugiarde dimostrazioni.“

[2]) Séailles, L d. V., l' artiste etc., Paris, 1892, S. 183.

[3]) Müntz, L. d. V. et les savants du moyen âge, in „Revue scientif.“, Paris, 1901, 4. Serie, S. 510—512.

gelesen und kompiliert; oft beschränke er sich darauf, alte Sammlungen zu kopieren, ohne vorher auf etwaige Fehler aufmerksam zu machen; außerdem sei es ihm oft passiert, auf bereits früher gewonnene Resultate zu stoßen und sie von neuem zu entdecken, sowie etwas zu finden, was andere vor ihm vorgeahnt oder formuliert hatten.

Jacobi führt an, daß Leonardo nach Solmi Aristoteliker in der rein naturphilosophischen Elementarlehre gewesen sei, freilich nicht im dogmatischen Sinne, wie er sich überhaupt vor dem Bekenntnisse zu einem philosophischen Dogma gehütet habe[1]).

Elsässer äußert sich folgendermaßen: „Leonardo war der erste, der planmäßig und mit einer für seine Zeit erstaunlichen Unerschrockenheit der Sprache die induktive Forschungsmethode empfiehlt und selbst zur Anwendung bringt“ [2]).

Endlich sei noch Schmidt[3]) erwähnt, der in seiner Schrift: „L. d. V. und Heron von Alexandrien“ von dem lebhaften Interesse Leonardos spricht, das er für das „delische Problem“ gehabt habe. An dieser Stelle kritisiere Leonardo die Alten.

4. Kapitel.

Seine Werke.

Während seines 67jährigen Lebens verfaßte Leonardo zahlreiche Schriften, die hier nur kurz angeführt seien[4]).

Aus dem Jahre 1489 stammt ein Fragment des ersten Traktates über die Anatomie,
1490—1491 Traktat über Schatten und Licht,

---

[1]) Jacobi, L. d. V. in seiner Bedeutung für die Naturwissenschaften, in „Weltall“, Berlin, 1903/04, S. 318—322.

[2]) Elsässer, Die Bedeutung L. d. V.s für die exakten Naturwissenschaften, in „Preußische Jahrbücher“, Berlin, 1899, S. 272.

[3]) Schmidt, L. d. V. und Heron von Alexandrien, in „Bibliot. mathemat.“, 1902, S. 180—187.

[4]) a) Ausführliche Angaben über seine Werke sind verschiedentlich zu finden, z. B. J. P. Richter, The literary works of L. d. V., London, 1883, Bd. 1, S. 5—9; b) Séailles, L. d. V., l'artiste et le savant, Paris, 1892; c) Wagner, Das Wissen und Können L. d. V.'s, Programm der Chemnitzer Lehranstalten, 1895 (Osterprogramm).

um 1490 über Kriegswaffen, Architektur, Fragment des Manuskript B,
1490 Traktat über den Vogelflug,
1492 Fragment des Traktats über die Malerei, verschiedene Materien und Mechanik,
1493 ein Tagebuch,
1493—1497 acht Tagebücher,
1490—1495 Studien über die Proportionen des menschlichen Körpers und Anatomie des Pferdes,
1490—1500 zweiter Traktat über Anatomie,
1502 ein Tagebuch und eine Sammlung von Karten,
1505 Stereometrie,
1505—1508 zwei Tagebücher und eine Sammlung von Abhandlungen und Bemerkungen,
1513 dritter Traktat der Anatomie,
1513—1515 drei Tagebücher,
zwischen 1497 und 1516 verschiedene Materien, vereinigt im sogen. Manuskript Trivulzio,
zwischen 1500 und 1516 Hydraulik,
zwischen 1490 und 1516 Traktat über das Auge,
nach 1504 drei Tagebücher,
1515 vierter Traktat über Anatomie,
1490—1516 Sammlungen einzelner Blätter,
1483—1518 Codex Atlanticus.

(Bei der Herstellung dieses Verzeichnisses haben die Schriften von Séailles und J. P. Richter als Grundlage gedient.)

Anschließend an dieses Verzeichnis seien noch einige Angaben über die hier in Betracht kommenden Handschriften beigefügt.

Der bereits erwähnte Codex Atlanticus, der der vorliegenden Schrift vor allem zugrunde gelegt ist, hat ein eigenartiges Schicksal erlebt. Es ist u. a. aus der Einleitung des von der Accademia dei Lincei herausgegebenen Faksimilekodex bekannt, daß Leonardo nach seinem Testamente sämtliche Manuskripte, Instrumente, Zeichnungen und Gemälde seinem Lieblingsschüler Francesco Melzi hinterlassen hat. Dieser nahm die gesamte Erbschaft mit nach Italien und hütete die Schätze

mit großer Sorgfalt. Leider folgten seine Erben nicht seinem Beispiele, sondern, wie Ambrogio Mazzenta berichtet, ließen sie die kostbaren Werke sich in alle Richtungen zerstreuen. Ein gewisser Lelio Gavardi da Asola erhielt die Handschriften, brachte sie nach Florenz und bot sie dem Großherzog Francesco an. Da dieser jedoch starb, konnte Gavardi nicht den erhofften Gewinn erzielen und nahm sie deshalb nach Pisa mit. Hier lernte er den eben genannten Mailänder Ambrogio Mazzenta kennen, und nur diesem Zufall ist es zu verdanken, daß die Familie Melzi die Schriften zurückerhielt, da Gavardi durch Mazzenta auf den nicht rechtmäßigen Besitz der Handschriften aufmerksam gemacht wurde. Leider haben die Erben der Familie Melzi die Zeichnungen und Handschriften nicht zusammen gelassen, sondern zum größten Teile an Freunde und Bekannte verschenkt. So gelangten die meisten Werke Leonardos an Pompeo Leoni, der als Bildhauer in den Diensten des Königs Philipp II. von Spanien stand. Es wird berichtet, daß Leoni im ganzen zehn Bände erhalten hat. Durch ihn sind die Originalhandschriften auseinander gerissen; man schiebt dies dem Umstande zu, daß Leoni mit der Zahl der Werke Leonardos prunken wollte. So kam ein besonderer Band mit ungefähr 1700 Zeichnungen zustande, der infolge seines großen Formates (67 cm hoch und 45 cm breit) und der großen Mannigfaltigkeit seines Inhaltes den Namen „Codice Atlantico“ erhielt. Es waren in diesem Werke 402 Folien enthalten. Leider ist es einem Buchbinder überlassen worden, die einzelnen Folien zu ordnen. Daher kommt es, daß nur in wenigen Fällen solche Blätter aufeinander folgen, deren Inhalt dieselbe Materie betrifft. Am meisten ist dies wohl der Fall bei den Kriegsmaschinen, die eine Reihe von Blättern umfassen. Dringt man genauer in den Inhalt des Codex Atlanticus ein, so bemerkt man, daß oft ganz entfernt voneinander befindliche Seiten ihrem Inhalte nach zusammen gehören, ja man kann sogar feststellen, daß der Buchbinder einzelne Blätter auseinander geschnitten und getrennt hat.

Da Leoni seinen Aufenthalt nach Spanien verlegte, so wanderte naturgemäß auch der Codex Atlanticus dorthin und

dürfte ungefähr im Jahre 1604 nach Italien zurückgekommen sein, als sich Leoni wieder nach Mailand wandte. Nach seinem Tode kam der Codex in den Besitz eines gewissen Cleodore Calchi. Von diesem erwarb Graf Galeazzo Arconati den Band für 300 Scudi.

Die Werke Leonardos wurden in der Folgezeit nicht besonders beachtet und gerieten fast in Vergessenheit; jedoch soll später der Kardinal Francesco Barberini eifrig bestrebt gewesen sein, Leonardos Werke für seine in Rom gegründete Bibliothek zu erwerben. Als ihm dies nicht gelang, versuchte er, wenigstens Kopien der einzelnen Manuskripte zu erhalten.

Nachdem Federico Borromeo die Biblioteca Ambrosiana in Mailand gegründet hatte, soll Galeazzo Arconati die in seinem Besitz befindlichen Handschriften Leonardos der Bibliothek zum Geschenk gemacht haben.

Wie Ravaisson-Mollien behauptet, seien die Werke Leonardos in der Ambrosiana verborgen geblieben, während die in anderem Besitz befindlichen Handschriften näher bekannt geworden wären. Zu Anfang des 17. Jahrhunderts ließ sich Antonio David durch Ludovico Muratori Zeichnungen und handschriftliche Stellen aus dem Codex Atlanticus kopieren. Durch Baldassare Oltrocchi, einen Vorsteher der Biblioteca Ambrosiana, wurden sämtliche Bemerkungen über das Leben Leonardos aus seinen Werken, also auch aus dem Codex Atlanticus, abgeschrieben, da Graf Antonio della Torre di Rezzonico eine Biographie Leonardos zu schreiben beabsichtigte. Amoretti machte auf Grund dieser Abschriften im Jahre 1804 eine umfassende Veröffentlichung. Durch Giuseppe Gerli wurden Zeichnungen Leonardos allgemeiner bekannt.

Nach der Eroberung Mailands im Jahre 1796 ließ Napoleon Bonaparte, angeblich zur Sicherung der Denkmäler der Kunst und Wissenschaft, sämtliche wertvollen Kunstschätze nach Paris überführen. Wegen der langen Dauer der Überführung, die 5 Monate in Anspruch nahm, wurde befürchtet, daß die Werke Leonardos verloren gegangen seien. Doch wurden sie nur getrennt; und zwar erhielt einen Teil die Nationalbibliothek, den anderen das Institut de la France. In der ersteren befand sich der Codex Atlanticus, der also nun von den anderen

Handschriften getrennt war. Diesem Umstande ist es zuzuschreiben, daß die Werke Leonardos nur unvollständig an die Biblioteca Ambrosiana zurückgegeben worden sind, nachdem im Jahre 1815 die Herausgabe der geraubten Kunstgegenstände von den verbündeten Mächten verfügt worden war. Da also die Nationalbibliothek nur wenige Manuskripte außer dem Codex Atlanticus enthielt, so konnte sie auch nicht mehr zurückgeben, und da die Aufbewahrung der übrigen Werke im Institut de la France dem mit der Verteilung beauftragten Beamten unbekannt war, so konnte nur der genannte Codex nach neunzehnjähriger Abwesenheit wieder in die Biblioteca Ambrosiana gelangen.

Aus der Zeit, in der der Codex Atlanticus in Paris war, stammt eine Abhandlung, die J. B. Venturi im Jahre 1797 herausgab. Die darauf folgende eingehendere Veröffentlichung über Leonardos mathematische und physikalische Kenntnisse hatte Guglielmo Libri[1]) zum Verfasser und stammt aus dem Jahre 1839. Speziell ist im dritten Teil dieses Werkes von dem Codex Atlanticus die Rede. Durch Omodei, ferner auf Veranlassung des Erzherzogs Rainer und durch Angelucci sind die Stellen des Codex Atlanticus veröffentlicht, die die Kriegskunst betreffen.

Im Jahre 1870 wurde auf dem Kongresse zu Parma der Beschluß gefaßt, die hauptsächlichsten Werke Leonardos in guter Reproduktion herauszugeben, da nach der Ansicht seiner Teilnehmer die italienische Wissenschaft ihrem Sohne Leonardo hierdurch das beste Denkmal setzen würde. Eine Kommission erhielt die Aufgabe, sämtliche Handschriften und Zeichnungen Leonardos zu sammeln und womöglich als Probe eine kurze Veröffentlichung herauszugeben. So entstand das Werk „Saggio delle opere di Lionardo da Vinci“.

Endlich wurde es der Regia Accademia dei Lincei ermöglicht, unter der Protektion des Königs von Italien in den Jahren 1899—1904 den Codex Atlanticus in vorzüglicher Reproduktion herauszugeben. (Leider hat, wie Jacobi[2]) sagt,

---

[1]) Libri, Histoire des sciences mathém. en Italie, Paris, 1839—1840.

[2]) Jacobi, Bemerkung in „Kahlbaums Geschichte d. Medizin u. d. Naturwissenschaften“, 1902/03, S. 278.

diese Prunkausgabe keinen zweckentsprechenden Erfolg, da sie nur in wenigen Exemplaren vorhanden ist und deshalb nur wenigen zugänglich sein kann.)

Es liegt in der Natur des Entstehens der ursprünglichen Handschrift des Codex, den Leonardo während nicht weniger als 35 Jahren (1483—1518)[1]) niederschrieb, und der nicht als ein zusammenhängendes Werk, sondern als ein Tagebuch, eine Sammlung von einzelnen, unzusammenhängenden Aufzeichnungen und Einfällen zu betrachten ist, daß derselbe Gedanke mehrfach wiederkehrt; es ist aber für den Zweck der vorliegenden Arbeit belanglos und würde ohne Vermehrung des Inhalts den Umfang unnütz vergrößern, wenn alle diese Wiederholungen wiedergegeben würden. Also wird hier auch das mehrfach im Codex Atlanticus vorkommende meist nur einmal erwähnt werden, wobei stets die mir charakteristischst erscheinende Stelle angezogen wird.

Zum öfteren könnte es scheinen, als ob beim wörtlichen Zitieren Schreibfehler sich eingeschlichen hätten, weshalb hier besonders hervorgehoben wird, daß für den Codex Atlanticus die Orthographie der Übertragungen der Ausgabe der Accademia dei Lincei in peinlichster Weise beibehalten ist.

Da dem Verfasser der vorliegenden Schrift beim Studium der einzelnen Werke über Leonardo und seine schriftstellerischen Arbeiten Unstimmigkeiten zwischen den einzelnen Autoren in bezug auf die Bezeichnung der einzelnen Blätter des Codex Atlanticus auffielen, so wandte er sich persönlich an die Biblioteca Ambrosiana wegen Aufklärung. Der Präfekt der Ambrosiana, Herr Dr. A. Ratti, gab in freundlicher Weise folgende Auskunft:

> „Was recto und verso betrifft im Cod. Atl. von Leon. da V., so stehen in der Handschrift selbst nur die Zahlen der neueren (19. Jahrh.) Numerierung und zwar nur im recto der Blätter, wie es Bd. 1 Testo. S. 7 n (1) gesagt wird. — Die Bezeichnungen a, b, u. s. w. sind ganz modern, d. h. zur Zeit der Faksimilierung, und zwar mit Bleistift beigeschrieben worden."

---

[1]) Vergl. Séailles, L. d. V., l'artiste etc., Paris, 1892, S. 538.

Natürlich wurden die Bezeichnungen: a, b, u. s. w., trotzdem sie, wie man aus vorstehendem Bescheid erkennt, erst aus neuester Zeit stammen, zum Zitieren einzelner Stellen in der vorliegenden Arbeit beibehalten, um dem Leser das Wiederauffinden zu erleichtern.

Der Codex enthält nach der genannten Ausgabe 401 Folioseiten. Jede Vorderseite ist mit „recto“ (hier „r“), jede Rückseite mit „verso“ (hier „v“) bezeichnet und die überwiegend größte Zahl der Vorder- und Rückseiten zerfällt noch in Unterabteilungen, die mit a, b, u. s. w. benannt und mit diesen Bezeichnungen auch in vorliegender Arbeit zitiert sind. Wo diese Unterabteilungsbezeichnung hier fehlt, ist eben die betreffende Seite nicht in Unterabteilungen gesondert.

Was nun den Inhalt des Codex Atlanticus betrifft, so sei nur kurz auf die außerordentliche Mannigfaltigkeit hingewiesen. Außer den Zeichnungen, Erklärungen und Aufgaben aus der Physik, Mathematik, Astronomie, Malerei und Bildhauerkunst finden sich Kriegsmaschinen, Landkarten, Kanalprojekte, Tuchschermaschinen, Schleifapparate, Sägen, Hebezeuge, Wasserräder, Pumpen, Wegemesser, Mühlen, Uhren, Feilenhaumaschinen, Flugmaschinen, Buchdruckerpressen u. s. w. Es bedarf sicher einer besonderen Arbeit, diese verschiedenen Materien geordnet zusammen zu stellen.

Neben rein privaten Notizen persönlichen und wirtschaftlichen Charakters ist der berühmte Brief an Ludwig Sforza zu erwähnen, der auf fol. 391 r—a zu finden ist, und von dem Müller-Walde in seinem hervorragenden, aber leider nicht zu Ende geführten Werke über Leonardo auf Seite 158ff. eine Übersetzung gibt[1]).

In dem schon erwähnten 1872 erschienenen „Saggio delle opere di Leonardo da Vinci“ ist eine Zusammenstellung der vornehmlichsten Stücke des Inhalts des Codex Atlanticus nach Materien geordnet gegeben, und so ist denn dort ein kleiner Anfang dazu gemacht, den physikalischen Teil zu bearbeiten. Aber weit entfernt, eine Zusammenstellung der Physik des Codex

[1]) Neuerdings wird behauptet, daß dieser Brief nicht von Leonardo stammt, vielleicht nur einem Schüler diktiert ist. Ein endgiltiger Beweis hiefür ist aber noch nicht gegeben. D. V.

Atlanticus, wie sie in vorliegender Arbeit versucht wird, überflüssig zu machen, läßt gerade dieser Teil des „Saggio“ erkennen, wie notwendig eine solche Zusammenstellung ist. Denn der genannte Teil ist zunächst äußerst lückenhaft; er enthält z. B. von wichtigen Gebieten der Mechanik kein Wort. Das, was erwähnt ist, wird kaum irgendwie in geistigen organischen Zusammenhang gebracht.

Weiter ist ein äußerlich erscheinender, in der Tat aber sehr störender Mangel zu tadeln, es fehlt nämlich überall eine Angabe darüber, an welcher Stelle des Codex ein Zitat zu finden ist, so daß jedem, der diesen Teil des „Saggio“ benutzen will, ein Rückgreifen auf den Codex und ein mühseliges Suchen in ihm nicht erspart bleibt. Bei der Herstellung der vorliegenden Arbeit wurde selbstverständlich der Codex genau durchforscht, die zitierten Stellen im „Saggio“ hätten hier also keine Arbeitserleichterung gebracht. Aber allen, die gelegentlich irgendwelcher anderen Arbeit eine Stelle aus dem Codex Atlanticus zitieren wollen, bringt der „Saggio“ keine Hilfe. Schließlich ist befremdender Weise im „Saggio“ sogar die Orthographie des Codex nicht überall beibehalten worden, sondern es finden sich zahlreiche Abweichungen.

In zweiter Linie sind die Pariser Manuskripte A—M und Ash_1 und Ash_2[1]) berücksichtigt worden und zwar in der Publikation von Charles Ravaisson-Mollien, Paris. Diese Publikation hat den großen Vorzug der Übersichtlichkeit, indem auf der einen Seite die Reproduktionen, auf der anderen, gegenüberliegenden Seite die Übertragungen und Kommentare angeordnet sind. (In der vorgenannten Ausgabe des Codex Atlanticus sind leider Reproduktionen und Übertragungen buchweise getrennt, wodurch m. E. die Übersicht beim Studium stark beeinträchtigt wird.) Die aus den Pariser Codices zitierten Stellen habe ich in der von Ravaisson-Mollien gegebenen Ursprache der Leonardoschen Texte angeführt, wobei aber berücksichtigt werden muß, daß Ravaisson-Mollien die eigenartigen Abkürzungen Leonardos aufgegeben hat. Die

[1]) Diese Codices waren 1815 in Paris zurückgeblieben; vergl. S. 15 d. Werkes.

Herausgabe der Ravaisson-Mollienschen Publikation hat von 1881—1891 gedauert. Es ist eine hoch anerkennenswerte Arbeit und in Verbindung mit den langjährigen Vorstudien ein Lebenswerk des Vaters und des Sohnes Ravaisson-Mollien.

Von anderen Schriftstellern, die spezielle Werke über einzelne Seiten von Leonardos wissenschaftlicher Tätigkeit geschrieben haben, wobei übrigens fast überall nur die Mechanik Berücksichtigung fand, seien als die hauptsächlichsten erwähnt: Vasari (1568), Venturi (1797), Libri (1839—1840), Grothe (1873, 1874), J. P. Richter (1883), Müller-Walde (1889), Séailles (1892), Th. Sabachnikoff (1893), Müntz (1899), Beck (1900 ff.), Herzfeld (1906), Duhem (1906).

Ich habe mich bemüht, sämtliche Werke und Aufsätze, die über Leonardo verfaßt sind oder ihn im wesentlichen behandeln, zusammenzustellen. Sie sind in einem Literaturverzeichnis enthalten, das anderen Forschern und Interessenten gern zur Verfügung gestellt wird.

Es ist kaum möglich, einen bestimmten Schriftsteller als den besten Historiker Leonardos zu bezeichnen, man sieht ihnen allen ein lebhaftes Interesse an dem Leben und Treiben des hervorragenden Meisters an. Auch bedarf es keiner besonderen Erwähnung, daß in allgemeinen physiko-historischen Werken, wie in Poggendorffs Geschichte der Physik, Dührings Geschichte der Mechanik, Hellers Geschichte der Physik, Leonardo ebenfalls gebührend Erwähnung findet, natürlich entsprechend den jeweilig unvollständigen Kenntnissen von diesem großen Mann.

Gewiß ist es nicht uninteressant, in welcher Weise die zahlreichen Schriftsteller über Leonardo, über sein Leben und seine Werke denken. Daher seien hier kurz einige Urteile über ihn angefügt:

Im allgemeinen lobt man ihn, zum öfteren könnte man auch von „Schwärmen“ reden[1]). Das sind meistenteils Schriftsteller, die nur über Leonardos Leben geschrieben haben und sich recht oft in Allgemeinplätzen bewegen. Autoren, die ihn speziell studiert haben, womöglich nach einer be-

[1]) Z. B. Muther, L. d. V., Berlin, 1903, und v. Gallenberg, L. d. V., Leipzig, 1834.

sonderen Richtung hin, sind nicht mehr so begeistert, da sie bei diesem Studium erkannt haben, daß Leonardo sehr viel zusammengetragen, aber viel weniger, als man meist glaubt, aus sich selbst geschaffen hat.

So schreibt v. Fabricy[1]), aber wohl nicht ganz richtig: „Als Schriftsteller hatte der Meister Zeit seines Lebens an den Folgen einer ungenügenden Jugendbildung zu leiden, deren Mängel er noch im reifen Alter zu ergänzen bestrebt war.“

Im Gegensatze hierzu loben Müntz[2]) und Herzfeld[3]) seine gute Jugendausbildung.

Jacobi[4]) sagt, daß Leonardo ein bedeutender Künstler gewesen sei, der in seinem Lebenswandel die Wahrheit jenes Sprichwortes bewies, das „Genie mit Leichtsinn gepaart“ sein läßt.

Dagegen hebt Solmi[5]) seinen reinen Lebenswandel, seine Sparsamkeit und Bescheidenheit hervor. Vasari[6]) spricht sogar davon, daß Leonardo kein Mensch, sondern vielmehr die Verkörperung des Göttlichen auf Erden gewesen sei.

Zum Schlusse dieses Abschnittes sei noch auf die verdienstvolle Arbeit von Professor Dr. M. Noether, den Inhalt des Codex Atlanticus betreffend, hingewiesen; siehe das Literaturverzeichnis.

Auf Grund der vorliegenden Schrift dürften wohl viele derjenigen, die Leonardo bis jetzt für einen zu seiner Zeit maßgebenden und bahnbrechenden Physiker gehalten haben, in mancher Hinsicht enttäuscht sein.

---

[1]) Fabricy, L. d. V., in d. Beilage zur „Allgem. Münchener Zeitung“, München, 1899, Nr. 118.

[2]) Müntz, L. d. V., l'artiste, le penseur et le savant, Paris, 1899.

[3]) Herzfeld, L. d. V., der Denker etc., Jena, 1906.

[4]) Jacobi, Nicolaus von Cusa und L. d. V., zwei Vorläufer des Nicolaus Coppernicus, in „Altpreuß. Mtsschr.“, 1902, S. 154.

[5]) Solmis zahlreiche Schriften und die Übersetzung v. E. Hirschberg, Berlin, 1908.

[6]) Vasari, Vita di L. d. V., 1550.

II. Abschnitt.

Quellen Leonardo da Vincis für die uns interessierenden Gegenstände.

Wie bereits bei der Aufzählung der Codices gesagt ist, sind diese zum größten Teil keineswegs zusammenhängende Schriften, sondern eigentlich nur zusammengestellte und zusammengebundene einzelne Blätter, auf denen wiederum die Notizen meist ohne jeglichen Zusammenhang zu finden sind. Es ist dadurch leicht erklärlich, daß Leonardo es nicht für nötig gehalten hat, zu jeder einzelnen Aufzeichnung auch den Namen desjenigen zu setzen, dem er sie entnommen hat. Daher konnte ich in den mir zur Verfügung stehenden Werken Leonardos nur äußerst wenige Stellen finden, an denen dieser den wirklichen Urheber des betreffenden Ausspruches gleich mit angeführt hat. Ich habe sie dann auch sofort hervorgehoben. Zuweilen gab Leonardo aber eine ganze Zusammenstellung von Namen derjenigen, deren Schriften er wohl gekannt und auch benutzt hat. Im großen ganzen ist es aber nur durch Studium seiner Vorgänger und durch einen dementsprechenden Vergleich möglich gewesen, die Entstehung einzelner Ansichten und den Ursprung mancher Apparate nachzuweisen. Welche Werke der einzelnen Gelehrten nun Leonardo zur Verfügung gestanden haben, ist deswegen noch schwerer zu sagen, weil es zur Zeit noch nicht genügend bekannt ist, was alles in jenem Zeitalter im Original oder in Übersetzungen vorhanden gewesen ist. Wenn es auch d'Adda[1]) gelungen ist, Leonardos Besitz an Büchern zum größten Teil nachzuweisen, wenn wir auch einzelne Notizen von

[1]) d'Adda, L. d. V. e la sua libreria, Mailand, 1873.

seiner Hand finden, daß er einen seiner Freunde um dieses oder jenes Buch bittet, und wenn wir auch wissen, daß er mit großer Vorliebe die Bibliotheken der Städte besucht hat, in die er während seines wechselvollen Lebens gekommen ist, so kann dennoch nicht mit Gewißheit angegeben werden, welche Werke er gekannt hat.

Es ist also nicht möglich, in dieser Beziehung eingehende Angaben zu machen, zumal noch in Betracht gezogen werden muß, daß in dem vorliegenden Werke nicht die Mechanik Berücksichtigung gefunden hat. Sobald hierüber eine ausführliche Veröffentlichung vorliegen sollte, kann ein abschließendes Urteil darüber gegeben werden, welche Kenntnis Leonardo über seine Vorgänger und deren Werke gehabt hat.

Die hier folgenden Angaben können daher zum größten Teile nur allgemeiner Art sein.

Hauptsächlich kommen wohl griechische, lateinische, einige seiner unmittelbaren Vorgänger und arabische Autoren in Betracht.

Um Späteren die Mühe des Suchens zu sparen, seien hier die Namen der hauptsächlichsten Gelehrten aufgezählt, die Leonardo kennt. Einzelne wurden mit ganz kurzen biographischen Notizen aufgeführt und außerdem diejenigen, die uns hier besonders interessieren, ausführlicher behandelt.

Albert von Imola.
Alberto.
Albertus.
Albertus Magnus.
Alexander Benedetti.
Alexander v. Parma.
Almansor-ebn-Isahk.
Ammianus Marcellinus.
Anaxagoras.
Angelo Fossobron.
Antonius v. Padua.
Archimedes.
Aristoteles.
Aesop.
Avicenna.
Calcedonius v. Thrazien.
Callimachus.
Callias v. Rhodus.
Cato.
Cleomedes.
Coltelli di Boemia.
Cornelius Celsus.
Dante.
Demetrius.
Diogenes v. Rhodus.
Epikur.
Epimachus von Athen.
Euklid.
Febar v. Tyria.
Festus Pompeius.
Galenus.
Heron.
Hippocrates.
Horaz.
Johannes Marlianus.
Jordanus Nemorarius.
Leon Battista Alberti.
Livius.
Lucretius.
Marcus Marcellus.
Marcus Varro.
Marlianus.
Michel Marullus.
Naevius.
Nonius Marcellus.
Ovid.
Pelacane.
Petrarca.
Plato.
Plautus.
Plinius.

Plutarch.	Quinctilian.	Tisber.
Pompeius Festus.	Roger Baco.	Tryphon v. Alexandrien.
Porus (Porrhus?).	Spera.	Varro.
Posidonius.	Socrates.	Virgil.
Priscinus.	Teodoricus Rex.	Vitruvius.
Ptolemäus.	Theophrast.	Vitello.
Pythagoras.	Thomas v. Aquin.	Xenophon.

Im einzelnen betrachten wir, wie schon gesagt, die wichtigsten Autoren des Altertums und Mittelalters.

Wie d'Adda[1]) feststellt, hat Leonardo z. B. eine italienische Übersetzung der „Historia naturale de Plinio Secundo" von Landino und Janson, die 1476 in Venedig erschienen war, besessen. Ebenfalls z. B. aus demselben Jahre stammt eine Uebersetzung des Titus Livius von U. Gallo. Wenn die Erzählung richtig ist, daß Leonardo sehr viel die Bibliotheken der Städte besucht hat, in denen er gewesen ist, so wäre es ja nicht unmöglich, daß er auch einzelne Originalhandschriften der Alten in die Hand bekommen hat. Aber leider ist dies nach den bisherigen Veröffentlichungen über Leonardo und seine Zeit nicht genau festzustellen. Betrachten wir jedoch einzelne Zeichnungen in Leonardos Werken, so können wir unschwer feststellen, daß dies Kopien der Figuren sind, die in den Werken seiner Vorgänger aus dem 8. bis 15. Jahrhundert vorhanden sind, und nicht Kopien der von den Alten gegebenen Zeichnungen.

a) Von griechischen Gelehrten sind außer
Anaxagoras[2]) (ungefähr 460 v. Chr.) besonders Aristoteles
und Euklid
recht häufig zu erkennen.

Von Aristoteles[3]) stammen die „auscultatio physica de generatione et corruptione"[3]), „de coelo", „meteorologica", „de

[1]) d'Adda, l. c., S. 11ff.

[2]) Erwähnt z. B. im Codex Atlanticus, fol. 385 v—c: „Anassagora. Ogni cosa vien da ogno coso e d' ogni cosa si fa ogni cosa, e ogni cosa torna in ogni cosa, perchè ciò ch' è nelli elementi è fatto da essi elementi".

[3]) Bei Leonardo z. B. im Codex Atlanticus, fol. 97 v—a, 123 r—a und 289 v—c, sowie in M.-D, fol. 10 v (der Lehrsatz des Aristoteles zugleich mit seinem Namen), M.-M, fol. 62 r, M.-J, fol. 130 v, M.-F, fol. v (im Deckel) und M.-Br. M., fol. 191 r, angeführt.

anima", „historia animalium" u. a.[1]). Zu erwähnen wäre hier auch noch der „Lapidarius", der als eine pseudoaristotelische Schrift bezeichnet wird.

Wir wissen, daß Übersetzungen der Originalwerke in das Arabische vorhanden waren, und daß z. B. Gerhard von Cremona wiederum eine Übersetzung aus dem Arabischen gegeben hat[2]).

Ferner ist es bekannt, daß Albertus Magnus eine Übersetzung des „Lapidarius" herausgegeben hat[3]).

Von

Euklid[4]) (ca. 300 v. Chr.)

sind die „Στοιχεῖα (Elemente)" und die „Optik" zu erwähnen, sowie das Werk „Über die Spiegel", das von S. Vogl in Archiv für Geschichte der Naturwissenschaft und Technik, Bd. I, S. 419, herausgegeben wurde. Letzteres soll aber nach Heiberg[5]) nicht von Euklid stammen.

Von Wichtigkeit für unsere Betrachtung ist

Claudius Ptolemäus[6]) (ca. 150 n. Chr.).

Für Leonardo war jedenfalls von den Werken des Ptolemäus von besonderer Bedeutung „Opticorum sermones quinque"[7]), in denen die Theorie des Sehens, die Reflexion, die Refraktion u. a. behandelt sind, von dem eine lateinische Übertragung nach dem Arabischen von Eugenius Ammiratus Siculus hergestellt war. Das Hauptwerk des Ptolemäus war der Almagest[8]), in dem er die astronomischen Kenntnisse seiner Zeit zusammenfaßte und das nach ihm benannte Planeten-

---

[1]) Vergl. Darmstaedter, Handbuch zur Geschichte der Naturwissenschaft und der Technik, Berlin 1908, S. 16, und Vogl, Roger Baco, Erlangen 1906, S. 24.

[2]) Vergl. Vogl, l. c., und Wiedemann's Beitrag XI, S. 75.

[3]) Mély, Le Lapidaire d'Aristote, in „Revue des études grecques", T. VII, 1894, S. 181—191.

[4]) Erwähnt z. B. im Codex Atlanticus, fol. 90v—a, 174r—a, 176r—d, 183v—a, 230r—a; auf fol. 148v—b heißt es „bacola devcljde"; M.-E, fol. 2r (Elemente d. Euklid), 10r, 29v, u. a. (vergl. auch S. 98, unten).

[5]) Literar.-geschichtliche Studien über Euklid, Leipzig, 1882, S. 148.

[6]) Erwähnt im M.-Ash$_2$, fol. 10r.

[7]) Vergl. Darmstaedter, l. c., S. 166—167.

[8]) i. l.

system darstellte; noch zu erwähnen wäre die Schrift Planisphärum, eine Theorie, Karten nach einer besonderen Projektionsart zu zeichnen. Seine „Optik“ ist nach den neueren Forschungen im ganzen Mittelalter für die Gelehrten vorbildlich gewesen. Sie diente Ibn al Haiṯam als Ausgangspunkt für seine optischen Abhandlungen[1]).

b) Von den lateinischen Autoren interessiert uns im vorliegenden Falle besonders Jordanus Nemorarius[2]), der um das Jahr 1220 gelebt hat. Von ihm stammen die „Arithmetica decem libris demonstrata“, „De triangulis“, „Tractatus de sphaera“.

c) Ganz besonders muß aber ein Physiker aus der Zeit vor Leonardo da Vinci erwähnt werden, der im 13. Jahrhundert gelebt hat, und dessen Arbeiten für die auf ihn folgende Zeit bahnbrechend gewirkt haben. Es ist dies

Roger Baco,

den Leonardo auch wirklich einmal erwähnt hat[3]). Da sein Einfluß auf Leonardo auf fast allen Gebieten der Physik zu erkennen ist, so muß seiner hier etwas ausführlicher gedacht werden[4]).

Roger Bacos Geburtsjahr ist nicht genau festzustellen, es soll zwischen 1210 und 1214 liegen. Er stammt aus einer adeligen Familie und ist in der Nähe von Ilcester in der Grafschaft Sommerset geboren. Nach einer guten Erziehung besuchte er die Universität Oxford, an der ein älterer Verwandter von ihm, ein gewisser Robert Baco, Lehrer war.

Wie berichtet wird, kamen im Jahre 1221 die ersten Dominikaner nach Oxford, die neben den drei Jahre später dort eingewanderten Franziskanern bald Einfluß auf die Hochschule und deren Lehren ausübten.

---

1) Siehe Vogl, Roger Baco, S. 26.

2) Angeführt z. B. C.-A., fol. 11 v—a u. 37 v—a; vergl. hierzu noch: Solmi, S. 62, Séailles, S. 382, und Müntz, S. 311.

3) M.-Br. M., fol. 71 b (vergl. S. 137, Anm. 2).

4) Die vorliegende Lebensbeschreibung ist hauptsächlich dem hier häufig zitierten Werk Dr. Vogls über Roger Baco und M. Charles, Roger Bacon, Paris 1861, entnommen.

Von den Lehrern Roger Bacos in dieser Stadt sind besonders Robert Grossetes te und Adam von Marsh zu nennen, die neben Theologie und Philosophie auf dem Gebiete der Sprachen und der Physik sehr erfahren waren, sodaß Roger Baco sich in seinem Wissensdrange ihnen im weitesten Maße anschloß.

Um das Jahr 1240 ging Baco nach Paris, dessen Universität seit dem Anfange des 13. Jahrhunderts durch die sogenannte arabisch-jüdische Wissenschaft einen großen Aufschwung erfahren hatte. Ganz besonders waren es die Werke des Aristoteles, die in der ebengenannten Wissenschaft bearbeitet worden waren.

Roger Baco widmete sich hier zunächst theologischen Studien und erwarb in dieser Wissenschaft den Doktorgrad. Alsdann gab er sich wieder den Studien der Naturwissenschaften hin, die er bereits in Oxford gepflegt hatte. Ganz besonders waren es die Werke des Avicenna, Averroes und Ibn al Haitam, von denen bereits zu jener Zeit lateinische Übersetzungen[1]) vorhanden waren.

Nachdem Baco nach Oxford zurückgekehrt war, trat er in den Franziskanerorden ein. Dieser Schritt ist ihm, wie Vogl berichtet, stets ein sehr großes Hindernis für die Ausführung seiner Pläne gewesen. Es ist bekannt, daß Roger Baco wegen seiner Beschäftigung mit den Naturwissenschaften, die man zu jener Zeit als „geheime“ bezeichnete, von seinen Vorgesetzten und Freunden mißtrauisch betrachtet wurde. Ja, es ging sogar soweit, daß man ihn aus Oxford entfernte und in das große Ordenshaus nach Paris brachte. Auch hier hatte Baco viel unter falschen Verdächtigungen zu leiden.

Erst nach geraumer Zeit hatte er wieder die Möglichkeit, an seine naturwissenschaftlichen Studien heranzutreten. Es entstanden das Opus maius, minus und tertium, das er 1267 mit einer Brennkugel zusammen an den Papst Clemens IV., der einer seiner hauptsächlichsten Gönner war, sandte.

Von Roger Bacos weiteren Werken sind noch das „Compendium studii philosophiae“ und das „Compendium der Theologie“ zu nennen.

---

[1]) Vergl. Vogl, Roger Baco, S. 5.

Im Jahre 1284 soll Roger Baco gestorben sein[1]), aber diese Angabe ist als unrichtig zu bezeichnen, da Bacos letzte Schrift noch die Jahreszahl 1292 trägt.

Ein äußerst verdienstliches Werk über Roger Baco und besonders über seine physikalischen Kenntnisse verdanken wir Herrn Dr. S. Vogl. In systematischer Weise hat der genannte das ganze Wissen Roger Bacos zusammengestellt und kritisch beleuchtet, indem er auf Grund seines Quellenstudiums der Alten und der Vorgänger Bacos zum größten Teil die Quellen angegeben hat, aus denen Baco geschöpft hat. Vergleichen wir im vorliegenden Falle die Aufzeichnungen Leonardo da Vincis mit denen Roger Bacos, und zwar in ungefähr gleicher systematischer Weise, so erkennen wir, daß beiden dieselben grundlegenden Werke zur Verfügung gestanden haben müssen. Außerdem ist oft in Leonardos Schriften der Einfluß Roger Bacos zu merken, zumal, wenn es sich um Erkenntnisse handelt, die wir Roger Baco verdanken.

Joannes Peckham (1222—1291).

Joannes Peckham, Erzbischof von Canterbury, auch Pisanus oder Archiepiscopus Cantuariensis genannt, ein Zeitgenosse Roger Bacos, beschäftigte sich viel mit den Naturwissenschaften. Sein Hauptwerk ist die „Perspectiva communis", in der von dem geradlinigen, dem reflektierten und dem gebrochenen Lichte die Rede ist. Nach Wildes Ansicht ist diese Perspektive ein höchst unklarer Auszug aus Alhazen und anderen Optikern. Das Buch ist vielfach als Lehrbuch in den Schulen zu jener Zeit benutzt worden und hat viele Auflagen erlebt (vergl. auch S. 112 dieses Werkes).

Von diesen Auflagen führt Wilde[2]) nach Scheibels Einleitung zur mathematischen Bücherkenntnis, Stück VII, S. 280, an:

1. Joannis, Archiepiscopi Cantuarensis, Perspectiva communis, ed. Gauricus, Neapolitanus, ohne Angabe von Jahr und Ort.

---

[1]) i. l., S. 7.

[2]) Wilde, Geschichte der Optik, Berlin, 1838, I. Teil, S. 83.

2. Perspectiva communis per Georgium Hartmannum, Norimbergensem, Norimbergae, 1542.

3. Joannis, Archiepiscopi Cantuarensis, perspectivae communis libri tres. Coloniae Agrippinae, 1580.

4. Unter demselben Titel, Coloniae, 1592.

Alsdann führt Doppelmaier oder richtiger Doppelmayr in „Histor. Nachricht von den Nürnbergischen Mathematicis und Künstlern, Nürnberg 1730," noch folgende an:

5. Eine Würzburger Ausgabe vom Jahre 1504.

6. Eine Pariser Ausgabe von Hamilius von 1556.

7. Eine italienische Übersetzung von Paullus Galluccius vom Jahre 1593.

Dann erwähnt Wilde noch:

8. Eine Mailänder Ausgabe, die von Fazius Cardanus unter dem Titel: Prospectiva communis Johannis, Archiepiscopi Cantuariensis, in der von unbekannter Hand geschrieben stehen soll: Mailand, 1496.

Wie wir nun von Solmi[1]) wissen, beschäftigte sich der ruhmsüchtige Rechtsgelehrte, Arzt und Mathematiker Fazio Cardano, ein Freund Leonardos, damit, die „Comentarî Prospettici" des Peckham zu verbessern, gerade als Leonardo nach Mailand kam. Es ist also wahrscheinlich das unter 8. genannte Buch aus der von Cardano stammenden Auflage, wenn auch Baratta annimmt, daß diese Auflage aus dem Jahre 1482 herrühren soll.

Leonardo erwähnt nun Peckham in keinem seiner Werke mit Namen, und dennoch wissen wir außer der eben angeführten Angabe von Solmi, daß er ihn gekannt hat. Denn im Codex Atlanticus, fol. 203 r-a, ist die wörtliche Übersetzung der Einleitung aus der unter 8. angeführten Ausgabe zu finden. Diese Stelle und die lateinische Einleitung bringt Baratta[2]) in dem unten zitierten Werke. Ich hatte die Möglichkeit, selbst die Angaben zu prüfen, da mir die unter 7. genannte Ausgabe zur Verfügung stand, wenn auch die italienische Übersetzung des Gallucci eine etwas andere war.

---

[1]) Solmi, L. d. V., Berlin, 1908, S. 99 ff.

[2]) Baratta, L. d. V. ed i problemi della Terra, Turin, 1903, S. 9 und 272.

d) Arabische Autoren.

Ibn al Haiṯam (Alhazen) (gest. 1038).

Von ganz wesentlichem Einfluß sind die Leistungen dieses Gelehrten auf Leonardo gewesen. In jedem Kapitel fast werden wir beim Vergleich dessen, was Leonardo selbst geschaffen, und was er übernommen hat, Ibn al Haiṯams Namen anzuführen haben.

Merkwürdigerweise erwähnt ihn Leonardo nicht ein einzigesmal mit Namen, während er verhältnismäßig oft die von Ibn al Haiṯam Abhängigen, z. B. Vitello und auch Avicenna nennt. Aber im Trattato della Pittura, Codex vaticanus (Urbinas), den H. Ludwig[1]) herausgegeben und kommentiert hat, findet sich bei der Nummer 525 eine Stelle, wo es heißt: „die 7te der 4ten." Da Leonardo den an dieser Stelle zitierten Gegenstand über Brechung der Lichtstrahlen behandelt hat, so habe ich nach einer entsprechenden Stelle in Risners[2]) Opticae thes. Alhazeni gesucht. Ich fand ihn aber nicht in der siebenten These des vierten Buches, sondern in der vierten These des siebenten Buches[3]) behandelt. Da sich nun diese Stelle nicht bei Vitello findet, so geht daraus hervor, daß L. da Vinci die Optik Ibn al Haiṯams, sei es in einer lateinischen, sei es in einer italienischen Übersetzung, benutzt hat, und so muß wohl als sicher angenommen werden, daß Leonardo ein Buch in Benutzung gehabt hat, das dem 1572 gedruckten Folianten als Vorbild gedient hat, und daß er die zitierte Stelle einem solchen Buche entnommen hat. Darauf begründet sich der Schluß, daß Ibn al Haiṯam und seine Werke Leonardo bekannt gewesen sind.

Bei der weiten Verbreitung der Schriften von Ibn al Haiṯam wäre es nicht unmöglich, daß wie zu Roger Bacos Zeiten, so auch zu denen Leonardos man es nicht für nötig hielt, stets seinen Namen zu erwähnen, weil er als eine Art von Autorität galt und ja allgemein aus ihm entnommen

---

[1]) Vergl. Ludwig, L. d. V., das Buch von der Malerei, Wien, 1. T. 1882, S. 515.

[2]) Vergl. Risners Opt. Thes. Alhazeni, Basel, 1552, S. 235.

[3]) Siehe hierzu S. 139 im vorliegenden Werke.

wurde. Nur bei abweichenden Ansichten wurden die Namen der anderen Gelehrten angeführt.

Über Ibn al Haiṯams Person und Werke und die entsprechende Literatur bis zum Jahre 1906 vgl. E. Wiedemann, Ibn al Haiṯam, ein arabischer Gelehrter, Festschrift für Professor J. Rosenthal, S. 149, Leipzig, G. Thieme sowie von seinen Forschungen [1]) die hauptsächlichsten Angaben (siehe das Literaturverzeichnis). Auch Baarmann, Brockelmann, Suter, Steinschneider, Woepcke, Wüstenfeld haben eine Reihe von Studien über diesen Araber herausgegeben [2]), [3]).

In der Hauptsache kommt hier sein bedeutendstes Werk über die Optik in Betracht, das von Risner im Jahre 1572 herausgegeben ist. Alsdann die Abhandlung über das Licht und der Traktat über Schatten und Finsternisse. Diese Werke sind von E. Wiedemann in seinen Beiträgen kommentiert und bei jedesmaliger Zitierung genau angegeben. Und endlich seine Schriften über die Brennspiegel.

Ibn Sînâ (Avicenna) [4]) (980—1037).

Von Avicennas Schriften scheint L. da Vinci besonders die lateinische Übersetzung der Schrift „de anima", die einen Teil des großen Schifâ bildet, benutzt zu haben. Bei seinen anatomischen Studien ist ihm der Kanon Avicennas von Nutzen gewesen, denn wir wissen, daß er Mondino da Luzzis [5]) Werk, nämlich die Übersetzung des Kanons des Avicenna, studiert hat.

Leonardo erwähnt Avicenna nachweislich an drei Stellen und zwar in M.-F, fol. O und in den englischen Manuskripten [6]).

---

[1]) Vergl. Poggend. Ann. 1876 (159), S. 658, Wiedem. Ann. 1877 (1) S. 480; (7) S. 679; (17) S. 350; (20) S 337; (21) S 541; (39) S. 110; (39) S. 470 und S. 565; Ann. d. Physik 1876, S 656, 1890 S. 113 ff.; Wiedemanns Beiträge in den Sitzungsberichten der physik.-medizin. Sozietät in Erlangen.

[2]) Vergl. z. B. Vogl, Roger Baco, S. 29 ff.

[3]) Vergl. Wüstenfeld, die Übersetzung arab. Werke in Lateinische seit d. 11. Jahrh; Abhandl. d. k. Gesellschaft zu Göttingen, 1877, S. 66.

[4]) Brockelmann, Gesch. d. arab. Literatur, Leipzig, 1901, S. 183 ff.

[5]) Vergl. Séailles, L. d. V., l'artiste etc., Paris, 1892, S. 278.

[6]) Vergl. J. P. Richter, The literary works of L. d. Vinci, London, 1883, § 1434 u. 1482: M.-W. An. IV, 167, und M.-W. An. IV, 151 b.

In d'Addas Zusammenstellung der Werke aus Leonardos Bibliothek finden wir keinerlei Erwähnungen der Werke Avicennas.

Ibn Roŝchd (Averroes)[1] (1126—1198).

Ob Leonardo ihn gekannt hat, ist nicht mit voller Gewißheit zu entnehmen. Müntz[2]) und Séailles[3]) behaupten es zwar, geben aber keine Beweise.

Ja'qûb al Kindî (ca. 750—850)

ist einer der fruchtbarsten arabischen Schriftsteller und wird von seinen Zeitgenossen hochgerühmt wegen der Vielseitigkeit und des beharrlichen Strebens in der Erforschung aller Wissensgebiete. Wie die Titel seiner zahlreichen Schriften zeigen, erstreckten sich seine Spekulationen in der Tat auf alle Gebiete der Philosophie: auf Arithmetik, Geometrie, Sphärologie, Astronomie, Astrologie, Konstruktion von Instrumenten, Meteorologie, Optik und Musik. Sein Wissen ruht größtenteils auf griechischen Mustern. Von besonderem Einfluß auf die optischen Anschauungen Leonardos und seiner Vorgänger im Zeitalter der Scholastik ist die noch vorhandene Schrift: De Aspectibus, eine, wie es scheint, selbständige Arbeit des gelehrten Arabers. Leonardo zitiert ihn an einer Stelle, und zwar giebt er hier den Auftrag, das Buch „die Proportionen des al Kindî" von seinem Freunde Fazio zu holen[4]).

Näheres über al Kindîs Leben und seine literarische Tätigkeit siehe bei G. Fluegel: Al Kindî, genannt der Philosoph der Araber, Leipzig, 1857. — Suter: Die Mathematik und Astronomie der Araber und ihre Werke in Abh. z. Gesch. d. math. Wiss., X. Heft, 1900, S. 23 ff. — Suter: Das Mathematikerverzeichnis im Fihrist, 37. Suppl. d. Zeitschr. f. Math., Leipzig, 1892, S. 10 ff. — Brockelmann: Geschichte der arab. Literatur, 1898, I, 209 f. — E. Wiedemann im Beitrage V. d. Erlanger Sitzungsberichte, 1905 (37), S. 401 ff.

---

[1]) Vergl. hierzu Suter, Die Mathematik und Astronomen der Araber ...; Abhandlungen z. Gesch. d. mathem. Wissensch., X. Heft, S. 127.

[2]) Vergl. Müntz, L. d. V. l'artiste etc., Paris 1899, S 311.

[3]) Vergl. Séailles, l. c., S. 371.

[4]) Siehe S. 110 des Werkes.

III. Abschnitt.

Leonardos Physik.

A. Optik.

1. Kapitel.

Theorie des Sehens bei Leonardos Vorgängern[1]).

Ehe wir uns mit den Untersuchungen Leonardos über die Optik, die er die Wissenschaft der Perspektive nennt[2]), beschäftigen, dürfte es zweckmäßig sein, die Ansichten seiner Vorgänger über die Theorie des Sehens kurz darzustellen.

Leonardo gibt leider hierüber wenig bestimmte Angaben, höchstens daß er einige Male im allgemeinen von Aristoteles spricht, wie es die weiter unten mitgeteilten Aussprüche erkennen lassen. Auch sagt er zuweilen, daß der „Gegner" diese oder jene der seinigen entgegengesetzte Meinung habe, ohne daß wir aber herausfinden können, ob er vielleicht diejenigen Vorgänger meint, die nach seiner Ansicht eine falsche Theorie aufgestellt haben, oder ob er einen Zeitgenossen im Auge hat, der seinen Anschauungen widerspricht[3]).

In Betracht kommen:

Die Platoniker. Sie vertraten bekanntlich die Fühlfädentheorie. Vom Auge gehen Strahlen aus und gelangen

---

[1]) In dem folgenden habe ich mich vielfach u. a. der Arbeiten E. Wiedemanns und Vogls bedient, die im Literaturverzeichnis angeführt sind. Hierbei ist zu beachten: Kaufmann, Über die Sinne, Leipzig, 1884, Hirschberg, Geschichte der Augenheilkunde, 2. Aufl., Leipzig, 1895. und Wilde, Geschichte d. Optik, Berlin, 1838.

[2]) Vergl. z. B. M.—G, fol. 8r, M.—Ash_1, fol. 13r.

[3]) Vergl. z. B. in vorliegender Arbeit das Kapitel: Geradlinige Fortpflanzung.

mit dem Bilde des Gegenstandes zurück, um dann in der Seele zum Bewußtsein zu kommen.

Man stützte sich dabei darauf, daß das Auge gewölbt und daher weniger zum Aufnehmen als zum Aussenden geeignet sei, ferner auf den Glauben, daß gewisse Tiere und einzelne Menschen im Dunkeln sehen könnten und auf andere Scheingründe mehr.

Unter den Gelehrten, die sich Platos Anschauung anschlossen, sind besonders Euklid und Ptolemäus hervorzuheben [1]).

Wenn wir auch wissen, daß die Araber vielfach an Aristoteles angeknüpft haben, so ist doch andererseits sicher, daß al Kindî in seiner „scientia de aspectibus“ der Lehre der Platoniker gehuldigt hat, wobei anzunehmen ist, daß er sich Euklid uud den Neuplatonikern angeschlossen hat.

Nach den Aristotelikern ist das Licht eine Bewegung der durchsichtigen Medien, wobei die Medien durch das Licht zwischen dem Auge und dem Gesehenen in Bewegung gesetzt werden. Für die Zeit, in der die Bewegungen stattfinden, wird angenommen, daß sie keine Dauer hat. Später schlossen sich auch Aristoteliker der Fühlfädentheorie an [2]).

Die Araber huldigten wenigstens zum Teil wieder der aristotelischen Anschauung. Hier ist besonders Rhazes (al Râzî, gest. 923 oder 932) zu nennen, der als Arzt sowohl mit dem anatomischen Bau des Auges vertraut, andererseits aber auch mathematisch und philosophisch geschult war, um den wahren Sachverhalt zu erkennen [3]).

Nach den Schriften der getreuen Brüder (Ichwân al Ṣafâ, ungefähr 10. Jahrhundert n. Chr.) geht das Licht von den Körpern aus, durchdringt die durchsichtigen Körper, nimmt ihre Farben auf und führt diese den Augäpfeln zu, die dann

[1]) Vergl. Hirschberg, Lippert und Mittwoch, Die arabischen Augenärzte, Teil 2, S. 200, bei Ṣulâḥ al Dîn.

[2]) Angaben, nach denen sich Leonardo den Ansichten der Aristoteliker oder Neuplatoniker angeschlossen hätte, finden sich nicht.

[3]) Vergl. Wiedemann, Gesch. d. Lehre v. Sehen, Wied Ann. 39. Bd., 1890, S. 472 u. 473, u. Beiträge I u. II, sowie Dieterici, Die Philosophie d. Araber im 10. Jahrh. n. Chr., Bd. 2, S. 97—98.

mit deren Farben gefärbt werden. Die andere Ansicht, daß von dem Auge Sehstrahlen ausgehen, wird als töricht verworfen. Nach der Ansicht der Genannten, die sich auch sonst findet, spiegeln sich die Bilder zunächst auf den Augäpfeln, wodurch sie der Sehkraft und dann der Vorstellungskraft zugeführt werden.

Diese Ansicht spricht Leonardo auch einmal an einer Stelle aus[1]. Ja er geht noch weiter, indem er auf die Bilder hinweist, die auf den Augengläsern gespiegelt werden[2].

Von den Arabern hat sich dann weiter Avicenna (gest. 1037) ausführlich mit der Lehre vom Sehen beschäftigt. Bekannt ist sein Werk „de anima", das ein Teil seines großen philosophischen Werkes Al Schifâ[3] ist. Aus dieser Schrift wissen wir, daß er die aristotelische Ansicht für die einzig richtige hält[4]. Leonardos Aussprüche lassen oft Avicennas Gedanken erkennen, zumal wir wissen, daß er seine Werke gekannt hat.

Der uns hier am meisten interessierende muslimische Gelehrte ist nun Ibn al Hai_am, der wie Avicenna überzeugter Anhänger der Lehre des Aristoteles war, dessen An-

---

[1]) M.-D, fol. 2r: „Selle spetie delliobbietti sonprese dalla virtu visiua nella superfitie dellochio osele pasa dentro" (ohne Figur.)

„Wenn die Spezies der Gegenstände durch die virtus visiva auf die Oberfläche des Auges genommen werden, oder wenn sie ins Innere gelangen."

Ferner: C.-A., fol. 204 r—b. (An dieser Stelle folgert er das Gleiche aus dem binokularen Sehen).

[2]) M.-D, fol. 2r: „Mosstranci livetri delli ochiali come lisimulacri delli obbietti sifermano nella superfitie ditali vetri edattal superfitie penetran piegandosi alla superfitie dellochio dalla qual superfitie epossibile chellochio veda lefigure depredetti obbietti" (ohne Figur.)

„Die Gläser der Brillen zeigen uns, wie die Bilder der Gegenstände auf der Oberfläche dieser Gläser haltmachen und von dieser Oberfläche eindringen, indem sie sich umbeugen, auf die Oberfläche des Auges gelangen, von welcher Oberfläche es uns möglich ist, daß das Auge die Gestalten der vorgenannten Gegenstände sieht."

[3]) Vergl. Wiedemann, Gesch. d. Lehre v. Sehen, Wiedem. Ann. 39. Bd., 1890, S. 472. Die Schifâ wird jetzt deutsch von Horten herausgegeben, doch ist bisher erst die Metaphysik erschienen.

[4]) Vergl. Winter, Über Avicennas Opus egregium de anima, München 1903, S. 42ff.

sichten er nicht nur erfaßt, sondern auch bedeutend erweitert und ausgebaut hat. Er sagt[1]), daß die Strahlen von unseren Augen in Gestalt eines Kegels ausgehen, dessen Spitze im Auge liegt, und dessen Basis die Fläche des angeschauten Körpers bildet. Vom Sehen, d. h. vom Zustandekommen des Bildes im Auge selbst gibt er uns eine Darlegung, die fast unsere moderne Auffassung erreicht. „Das Sehen[2]) vollzieht sich, wenn das Bild, das durch die Kristallinse aufgenommen wird, in den optischen Nerv gekommen ist. In der Höhlung dieses Nervs, also auf den beiden Netzhäuten, bilden sich die Umrisse des Objektes ab; es machen Quantität und Gestalt Eindruck und bewirken das Bild. Hat das Objekt eine bestimmte Farbe, so hat auch jeder Teil der Netzhaut diese Farbe, und haben die Teile des Objektes verschiedene Farben, so sind auch die Teile auf der Netzhaut unterschiedlich gefärbt[3])."

Die Neuplatoniker vereinigten die Ansicht des Plato und des Aristoteles[4]). Ihre Auffassung hatte sich Roger Baco[5]) zu eigen gemacht. Für uns ist diese Erwähnung deshalb von Wichtigkeit, weil wir später sehen werden, daß Leonardo sämtliche drei Theorien anführt.

2. Kapitel.

Die Sehtheorie Leonardos.

I. Die Spezies.

Die Eindrücke der Gegenstände auf die Sinne betrachteten die Atomisten als die Wirkung der Emanationen der Körper, die durch die Organe hindurchgehend bis zur Seele gelangen. Aus diesem Grunde sahen sie die Sensibilität als eine ganz passive Tatsache an: „Die Seele war das Wachs und die Sensation das eingedrückte Siegel".

---

[1]) Siehe Wiedemann, l. c.

[2]) Vergl. Vogl, Roger Baco, S. 40.

[3]) II. B., 16; I. B., 25.

[4]) Vergl Dieterici, Musterstaat von Alfarabi, p. VIII und philos. Abh. p. XIX.

[5]) Siehe Vogl, l. c., S. 48—50.

Nach den Scholastikern haben die körperlichen Objekte gewisse Qualitäten oder Kräfte, um den Sinnesorganen ihre Formen und Eigenschaften in einem intentionellen oder geistigen Zustande zuzusenden, Formen, die die sensitive Potenz in den Akt erheben.

Hierin liegt der Begriff der Spezies, den wir in physikalischer Hinsicht als den nicht näher bestimmbaren Ausfluß der Gegenstände bezeichnen, der auf das Auge wirkt (Strahl, Bild).

Gerade diese Bezeichnung species (spetie)[1]) treffen wir nun häufig bei Leonardo. Die näheren Erörterungen, die er daran knüpft, lassen, so mangelhaft sie vielfach sind, deutlich erkennen, daß er diesen Begriff im scholastischen Sinne versteht, was um so weniger befremdet, als er sich auch hier sichtlich an Alhazen und Roger Baco anschließt. Deshalb habe ich auch die in seinen Schriften zerstreuten Bemerkungen über die Spezies unter den fast gleichen Gesichtspunkten gesammelt, wie dies in der Bearbeitung der Physik von Roger Baco durch S. Vogl geschehen ist.

Nach der Ansicht Leonardos erfüllt sich die Luft mit unendlich vielen Spezies, sobald sie erleuchtet ist. Diese Spezies sind durch die Farben der Körper verursacht, die in der Luft sind. Dabei befindet sich die Spezies eines jeden Punktes der körperlichen Oberfläche in einem jeden Punkte der umgebenden Luft. Und alle Spezies des Körpers sind in jedem einzelnen Punkte dieser Luft. Desgleichen ist jeder Teil der Spezies der Luft in jedem Punkte der Oberflächen der entgegenstehenden Körper. Infolgedessen erscheinen der Teil und das Ganze der Spezies des Körpers im Ganzen und im Teile der entgegenstehenden Luft; und der Körper der Luft erscheint im Ganzen und im Teile der Oberfläche des

[1]) Außer der Bezeichnung species gebraucht er auch das Wort similitudo, Gleichbild. Die Ausdrücke species, similitudo, simulacrum, phantasia, idolum, vis, umbra philosophorum sind in der Scholastik vielfach gleichwertig und bezeichnen nur verschiedene Wirkungsarten der Spezies. Spezies im Sinne von „spezie“, dem Schein nach, dessen Gegensatz im lateinischen Sprachgebrauch „re vera“ ist.

Gegenstandes. Das Auge ist dann für die Spezies gleichsam die Zielscheibe und der Magnet[1]).

Wir haben hier dasselbe, was schon al Kindî u. a. und nach ihnen Roger Baco, Vitello u. a. lehrten, daß nämlich von jedem Punkte eines (leuchtenden) Objektes aus ein Strahl zu jedem Punkte des umgebenden Mediums gehe, zu dem sich eine gerade Linie ziehen läßt. Diese Strahlen stören sich gegenseitig nicht. Hier bei Leonardo ist noch von einer Wechselbeziehung die Rede, wonach geradeso auch das Medium seine Spezies auf den Gegenstand wirkt. Der Vergleich mit dem Magnetstein findet sich gleichfalls wieder bei al Kindî in „de aspectibus" und in der Schrift „de speculis" von Tideus[2]).

---

[1]) a) C.-A., fol. 138r—b: „L' aria è piena d' infinite similitudine delle cose, le quali infra quella sono strebuite, e tutte si rappresentano e tutte in una in tutte e tutte in ciascuna." (Ohne Figur.) (Das Gleiche in v b derselben Foliostelle!)

Ferner fast wörtlich ebenso:

M.-W. L., 145, B. a. (nach J. P. Richter, Bd. I, § 66): „Sono le spetie de corpi tutte infuse per l' aria che se vede e tutte in ogni parte di quella."

Und b) C.-A., fol. 179v—c: „Tutti i corpi ànno infuso e misto tutte loro spezie e similitudine in tutta la quantità dell' aria a sè contraposta. La spezie di ciascun punto delle corporee superfizie è in ciascun punto d' ess' aria. Tutte le spezie de' corpi sono in ciascun punto d' essa aria. E la parte de la similitudine dell' aria è in ciascun punto delle superfizie delli anti posti corpi. Adunque la parte e 'l tutto delle spezie de' corpi appare in tutto e nella parte dell' aria a sè opposita. E 'l corpo dell' aria in tutto e nella parte della superfizie d' essi corpi appare." (Ohne Figur.)

c) M.-A, fol. 27r: „— subito. chellaria. fia. alluminata. senpiera. dinfinite spetie lequali. sonchavsate davari. chorpi echolori che infra esa. sono. chollocati dalle. quali. spetie. lochio. sifa. berzaglio. echalamita —." (Ohne Figur.)

„Sobald die Luft erleuchtet ist, füllt sie sich mit unendlich vielen Spezies, die durch verschiedene Körper und Farben verursacht sind, die sich in ihr befinden, Spezies, zu deren Zielscheibe und Magnet sich das Auge macht."

d) M.—A, fol. 2v: „laria. epiena. dinfinite. linie rette e radiose insieme intersegate eintessute sanza ochupatione luna dellaltra rapresentano aqualunche obbietto. laveraforma. della. lorchagione." (Ohne Figur.)

„Die Luft ist voll von unendlichen geraden strahlenden Linien, die gegenseitig sich schneiden und in einander sind, ohne daß die eine den Platz der anderen einnimmt; sie stellen für irgendeinen Gegenstand die wahre Form ihrer Ursache dar."

[2]) Beide Schriften werden hoffentlich bald von Herrn Dr. Björnbo in Kopenhagen in Gemeinschaft mit Herrn Dr. Vogl herausgegeben werden.

Mit dieser letzteren Anschauung, daß das Auge wie ein Magnet die Spezies an sich ziehe, stimmt auch die weitere Bemerkung Leonardos überein, daß nämlich der Glanz eines Gegenstandes nicht in der Mitte des leuchtenden Teiles festgelegt ist, sondern ebensoviele Änderungen der Lage ausführt wie das betrachtende Auge[1]). Aus der beistehenden Zeichnung (Fig. 1) ist zu erkennen, daß es sich um Sonnen-

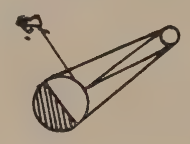


Fig. 1.

strahlen handelt, die von der Oberfläche eines kugelförmigen Körpers in das Auge reflektiert werden.

Gelegentlich spricht Leonardo auch von der Teilbarkeit der Spezies und meint damit, daß die Kraft, mit der sich die Spezies der Gegenstände in der Luft eindrücken, ebenso wie der Gegenstand selbst teilbar sei und zwar in ebensoviele große und kleine Teile, als es Bilder der gesehenen Gegenstände gibt[2]).

Die Scholastiker nehmen für die verschiedenen äußeren Sinneswahrnehmungen eine gemeinsame innere Sammelstelle an, den sensus communis oder das sensorium commune, das

---

[1]) M.-H, fol. 90 v: „ilumi delumi. cioe. illusstro di qualun que. chosa nonsara. situato. nelmezo della. parte allumi nata. anzi fara tan te. mutazioni. quanto. fara. lochio ri guardatore. di quello.“ (Fig. 1.)

„Die ‚lumi‘ der ‚lumi‘, d. h. der Glanz (lustro) irgendeines Gegenstandes, werden nicht in der Mitte des erleuchteten Teiles gelegen sein, sondern werden ebensoviele Änderungen der Lage ausführen, als das Auge, das sie betrachtet.“

[2]) M.-F, fol. 34 r: „Essella essperientia cimo stra tutte lecose diuise coli spati proportiona ti einteligibili e tal uirtu douesinpreme le spetie delle cose ancora lei ediuisibile intan te parte magori eminori quanto son lisimu lacri delle cose vedute.“ (Ohne Figur.)

„Und wenn uns die Erfahrung alle abgeteilten Gegenstände mit ihren proportionierten und wahrnehmbaren Räumen zeigt, ist diese Kraft, durch die sich die Spezies der Gegenstände eindrücken, ebenso wie sie teilbar, in ebenso viel große und kleine Teile, als es Bilder der gesehenen Gegenstände gibt.“

die Gegenstände, die die äußeren Sinne darbieten, aufnimmt und beurteilt. In dieser Bedeutung findet sich auch bei Leonardo öfters die Bezeichnung "senso commune"[1]). Davon zu unterscheiden ist jedoch das Wort „sensore". Er gebraucht dieses z. B. an einer Stelle, wo er den Unterschied zwischen „lume" und „lustro" (wohl gleich „lucido") erörtert und dann beifügt, daß an den Spitzen benetzter Körper ein „sensore bianco" entsteht, womit wohl eine Glanzwirkung auf das Auge gemeint ist[2]).

II. Art und Weise der Fortpflanzung der Spezies.

Was wir darüber bei Leonardo finden, zeigt, wie sehr er bemüht war, sich über diese dunklen Vorgänge eine physikalische Vorstellung zu bilden. Er schreibt:

„Ebenso wie der ins Wasser geworfene Stein sich zum Mittelpunkt macht und verschiedene Kreise hervorruft, und wie der Schall in der Luft sich kreisförmig ausbreitet, so breitet jeder in der leuchtenden Luft befindliche Körper seine Spezies kreisförmig aus, erfüllt die umgebenden Teile mit seinen zahllosen Bildern und es erscheint das Ganze überall und in jedem Teile[3])."

Leonardo vertritt hier selbstverständlich keine Anschauung über die Lichtbewegung, die unserer modernen Auffassung ähnlich wäre. Seine Vorstellung geht vielmehr auf Aristoteles zurück, wonach das Licht zur Fortpflanzung eines Mediums bedarf, wie der Schall die Luft braucht. Dieses Medium, ganz

---

[1]) C.-A., fol. 138r—b; M.—D, fol. 2v.

[2]) M.—Ash$_2$, fol. 32v: „— edesensore bianco e nascie nechol mi de bagniati chorpi." (Ohne Figur.)

„Dies ist ein ‚sensore bianco', das an den Spitzen der benetzten Körper entsteht."

[3]) M.-A, fol. 9v: „Sichome. lapietra. gittata. nellacqua. sifa. cientro. echavsa. diuari circhuli elsono. fatto inellaria. circularmente sispargie. cosi ogni. corpo. posto. infra laria. luminosa circularmente spargie. eenpie le circhunstanti. parti. dinfinite sue. similitudine. eapare tutto pertutto. ettutto in ogni parte." (Ohne Figur.) [Die Übersetzung befindet sich S. 81 im Kapitel: Geradlinige Fortpflanzung.]

(Eine entsprechende Figur ohne Text ist im Codex Atlanticus auf fol. 300r—b zu finden; siehe diese auf S. 153 bei Akustik.)

allgemein Äther genannt, wird durch das Licht, das von den Farben der Körper kommt, in Bewegung gesetzt, wie man Wasser und Luft in Bewegung setzen kann[1]). Leonardos Ansicht über den Lichtvorgang stimmt deshalb vielfach mit seiner Lehre über den Schall überein: Die Erschütterung der Glocke, sagt er, läßt hinter sich ihr Abbild mit allen Einzelnheiten zurück, eingedrückt in die umgebende Luft. Dieser Eindruck teilt sich der nächsten Luft mit und so fort, wodurch die Wellen entstehen. So drückt sich auch die Sonne mit ihren Strahlen dem luftartigen Medium ein. Während aber das Bild der Glocke bei der Glocke bleibt, geht das Bild der Sonne bis zum Auge fort. Ihre geradlinigen Strahlen durchbrechen also die aufeinanderfolgenden Teile des Mediums und setzen sie dabei in Bewegung[2]).

Mit Rücksicht auf die immer größer werdenden Wellenkreise im Wasser erklärt sich auch die weitere Bemerkung unseres Autors, daß die Strahlen der leuchtenden Körper um so mehr wachsen, je weiter sie sich von ihrem Ursprunge entfernen[3]).

Endlich zieht Leonardo aus der Anschauung, daß der Äther (im aristot. Sinne) durch die auftreffenden Lichtstrahlen in Bewegung gesetzt wird, die Folgerung, daß die Sonnenstrahlen durch ein dünneres Medium besser hindurchgehen als durch ein dichteres, und daß dort, wo die Luft dünner ist, die Sonnenstrahlen weniger glänzen und dunkler sind als an den Stellen, wo die Luft dichter ist[4]). Letzteres schließt Leonardo

---

[1]) Vgl. Hirschberg, Gesch. d. Augenheilk., Bd. 12, S. 110.

[2]) Vgl. darüber die Ausführungen in dem Kapiteln über Akustik.

[3]) M.-D, 1v: „Tanto piu cresscano lirazi decorpi luminosi quanto piu siremovano dalli loro principie.“ (Ohne Figur.)

„Die Strahlen der leuchtenden Körper wachsen um so mehr, je weiter sie sich von ihrem Ursprunge entfernen.“

[4]) M.-K, fol. 118r: „dove e piu raro epivsottile me zo quivi irazi solari anno minor resistentia edoue man cho siresiste men sinpreme della natuar [sic.!] della gente onde perquesto siconchlude che dove laria e piv sottile men virisplende laperchu sion delli detti razi solari eperconse guenza ve piv scuro e cosi deconue rso nelconuerso.“ (Ohne Figur.)

„Wo ein schwächeres und dünneres Mittel ist, haben die Sonnenstrahlen einen minderen Widerstand, und wo es weniger Widerstand gibt, prägt sich

wohl aus der Tatsache, daß auch der Schall im dünneren Medium weniger laut vernehmbar sei als im dichteren[1]). Ob ihm dabei eine Ahnung davon vorschwebte, daß die Strahlen im dichteren Medium einen größeren Widerstand überwinden als im dünneren und die größere Arbeit sich in helleres Licht umsetze, wollen wir dahingestellt sein lassen. Er äußert sich auch nicht darüber, ob die Zeit, die der Strahl zum Durchgang durch ein dichteres und dünneres Mittel braucht, verschieden ist oder nicht.

III. Erfordert der Gang des Lichtes Zeit oder nicht?

Diese Frage, die im ganzen Altertum und Mittelalter keine sichere Lösung fand und deshalb auch von dem einen Gelehrten verneint, von dem anderen bejaht wurde, hat Leonardo nicht eingehender besprochen. Nur gelegentlich sagt er: „Die Luft ist an sich geeignet, ohne Zeit den Blick auf einen Gegenstand zu gestatten und jede Spezies und jedes Bild eines beliebigen Körpers zu übermitteln, damit sie gesehen werden[2]).“ Er denkt hierbei wohl an den wiederholten Hinweis bei al Kindî, daß das Auge in einem Augenblick bis zum Fixsternhimmel vordringe.

An derselben Stelle heißt es weiter: „Wenn die Sonne beim Aufgange im Horizonte erscheint, durchdringt sie ohne Zeit unsere ganze Erdhälfte und erfüllt sie mit ihrem leuchtenden Bilde[3]).“

---

weniger von der Natur des Agens ein. Hieraus schließt man, daß, wo die Luft dünner ist, dort das Auftreffen der genannten Sonnenstrahlen weniger strahlt [glänzt], und dort ist es folglich dunkler und ebenso im umgekehrten Sinne umgekehrt.“

[1]) Leonardo hat sich darüber zwar nicht direkt ausgesprochen, aber einige Beispiele, die wir in dem Kapitel über Akustik aufführen, lassen diese Ansicht deutlich erkennen.

[2]) C.-A., fol. 179r—b: „L'aria e per se atta a pigliare sanza tempo e lasciare ogni spezie e similitudine di qualunque corpo da lei veduto.“ (Ohne Figur.)

„Die Luft ist an sich geeignet, zu ergreifen ohne Zeit und jede Spezies und Bild eines beliebigen Körpers von seinem Gesehenen zu lassen.“

[3]) Ebendort: „Il sole, apparendo nell' orientale orizonte, tutto il nostro emisperio sanza tempo penetra e empie della sua luminosa similitudine.“ (Ohne Figur.)

An diesem Beispiele wollten auch schon Aristoteles und nach ihm al Kindî und andere erkennen, daß das Licht keine Zeit zur Fortpflanzung brauche[1]).

Daraus gewinnt es den Anschein, daß auch Leonardo sich der Ansicht jener zuneigte, die keine Zeit für die Fortpflanzung des Lichtes erforderlich erachteten, wenn auch an einer anderen Stelle von „fast augenblicklicher" Fortpflanzung die Rede ist[2]).

IV. Kreuzung und Vermischung der Spezies [der Strahlen].

Wenn Strahlen sich von verschiedenen Seiten her in einer engen Öffnung treffen, so vereinigen sie sich hier zwar, gehen jedoch nach der Vereinigung wieder in derselben, einmal eingeschlagenen Richtung weiter. Eine eigentliche Vermischung der Spezies findet dabei nicht statt, wohl aber tritt eine Vertauschung der Lagen der Bilder[3]) ein, wie wir dies an

„Wenn die Sonne beim Aufgange im Horizont erscheint, durchdringt sie ohne Zeit unsere ganze Erdhälfte und erfüllt sie mit ihrem leuchtenden Bilde."

Ähnlich spricht Ibn al Haiṯam in den nur arabisch erhaltenen Teilen des ersten Buches der Optik (vgl. eine demnächst erscheinende Arbeit von E. Wiedemann).

[1]) Alhazen und Roger Baco verneinen die Frage. Näheres über diese Frage bei Vogl, l. c., S. 45 f.

[2]) Vergl. hierzu: C.-A., fol. 204 v—a.

[3]) M.-W. L. 145; D b (nach J. P. Richter Bd. I, § 81): „Siccome ī un punto passā tutte le linie sanza occupatione l' una dell' altra per essere incorporee, cosi possono passarvi tutte le spetie delle superfitie, e siccome ogni dato punto vede ogni antiposto obbietto, e ogni obietto vede l' antiposto punto naturale, ancora per essò punto possono transire i diminviti razzi di tali spetie, dopo il transito delle quali si riformeranno e ricresceranō le quātità di tali spetie; Ma le loro inpressioni sarā riverscie, come è provato nella prima di sopra, dove dicie che ogni spetie s' intersega nello introito delli stretti spiraculi fatti in materia di minima grossezza." (Fig. 2.)

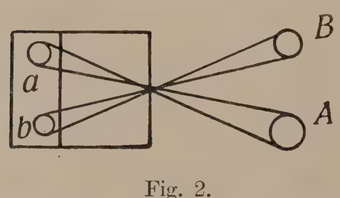


Fig. 2.

„Ebenso wie alle Linien sich in einem Punkte treffen, ohne daß die eine von der anderen in Besitz genommen wird, da sie ohne Körperlichkeit sind, ebenso können sich alle Spezies der Oberflächen dort treffen; und wie jeder gegebene Punkt den vor ihm aufgestellten Gegenstand sieht, und jeder Gegenstand den vor ihm aufgestellten Punkt sieht, so können auch die verminderten Strahlen solcher Spezies durch den Punkt gehen und nach dem

der Figur 2 sehen, wo die beiden leuchtenden Körper A und B die Abbildungen a und b erzeugen mit dem einzigen Unterschiede, daß letztere auf verschiedenen Seiten liegen. In der Öffnung müssen die Spezies zusammengedrückt werden, außerhalb derselben nehmen sie ihre ursprüngliche Größe an[1]).

Von den durch die Öffnung gehenden Strahlen wird einer auf der Ebene der Öffnung senkrecht stehen; nämlich die Zentrallinie. Das Bild, das diese verursacht, liegt direkt gegenüber und wechselt nicht die Lage wie die Bilder der schief zur Öffnung gelangenden Strahlen. Ein solches Wandern von rechts nach links würde erfordern, daß die Zentrallinie sich selbst schneiden könnte, und dazu gehörten zwei Linien. Oder man müßte die Linie als Fläche betrachten, was aber dem Begriffe einer Linie zuwiderläuft[2]).

Durchgang werden sie sich wieder bilden, und es werden wieder die Größen solcher Spezies heranwachsen. Aber ihre Eindrücke werden umgedreht erscheinen, wie es im ersten oben gezeigt ist. Wo gesagt wird, daß jede Spezies sich bei dem Eintritt in die engen Öffnungen schneidet, die in sehr dünnem Material gemacht sind."

[1]) Hierzu gehört noch eine Abbildung, die ebenfalls den englischen Manuskripten entnommen ist. Es ist dies die Abbildung aus dem M.-L. 145; B a (J. P. Richter Bd. I, § 66). Man kann aus ihr deutlich die Kreuzung der Spezies entnehmen. (Fig. 3.)

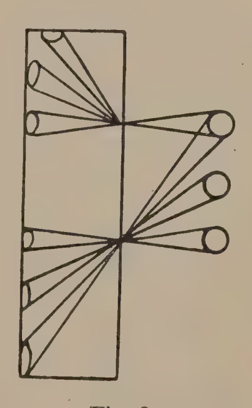


Fig. 3.

[2]) M.-Wind. L. 145; C. b (nach J. P. Richter Bd. I, § 80): „Se la linia ciētrale delle spetie si può in se intersegare dētro allo spiracolo o no?

Inposibile è che la linia in se si possa intersegare cioè che 'l lato destro d' una delle sua fronti passi al lato sinistro del lato della frōte opposita, e cosi il suo lato sinistro passi al lato destro, perchè tale intersegatione richiede due linie per li due detti lati, delli quali nō si può dar moto da destra e sinistra e da sinistra a destra in se medesimo, se nō v' è spatio di grossezza, il quale sia capacie di tal moto: e se v' è spatio, essa non è linia, āzi è superfitie, e noi cierchiamo la natura della linia e nō d' essa superfitie, e perchè la linia non avendo mezzo nella sua grossezza essa nō si può diuidere; adunque cōcludiamo la linia nō potere aver lati intersegabili infra loro." (Fig. 4.)

„Ob die Zentrallinie der Spezies sich in sich selbst innerhalb der Öffnung schneiden kann oder nicht? Es ist unmöglich, daß die Linie sich selbst schneiden kann, das heißt, daß die rechte Seite einer ihrer Vorder-

Es kann nun vorkommen, daß mehrere Spezies, die von verschiedenen Richtungen kommen, zusammenfallen z. B. im Auge eines Beobachters. Unter diesen übertrifft die von der

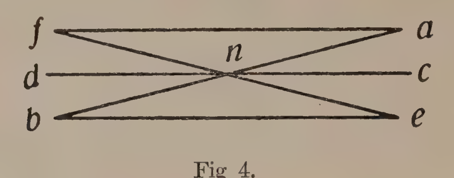


Fig 4.

Zentrallinie kommende alle seitlich einfallenden, während die übrigen sich entweder verstärken oder schwächen und ein Mittleres bilden, wie wir bei den Farben sehen[1]).

V. Stärke der Wirkung und Sehpyramiden.

Über diese Frage hat sich Leonardo sehr wenig ausgesprochen. Ganz allgemein gilt ihm jene Kraft als die stärkere, die sich mehr ihrem Zentrum, ihrer Quelle nähert. Er meint damit zunächst wohl jene Kraftrichtung, die der Richtung der Erdschwere möglichst nahe kommt, und weiterhin dann jede lotrechte Kraftrichtung, z. B. auf das Auge[2]).

flächen nach der linken Seite der entgegengesetzten Fläche hinübergeht und so ihre linke Seite hinübergeht nach der rechten Seite, denn ein solches Schneiden erfordert zwei Linien für die beiden erwähnten Seiten; bei diesen kann keine Bewegung von rechts nach links oder von links nach rechts in sich selbst entstehen, wenn nicht ein solcher Raum vorhanden ist, der solche Bewegung erlaubt. Ist aber ein solcher Raum vorhanden, so ist es keine Linie mehr, sondern eine Fläche; wir untersuchen aber die Natur der Linie und nicht der Fläche. Und wie die Linie kein Maß in ihrer Dicke hat, kann sie nicht geteilt werden; wir müssen daher schließen, daß die Linie nicht Seiten haben kann, die sich untereinander schneiden."

[1]) Aus Roger Baco op. mai. II. 39—46; 511 ff, behufs Erklärung der Figur entnommen. Bei Leonardo selbst ist nicht klar, was gemeint ist. Er sagt nur, wie wir im nächsten Titel sehen werden, daß diejenige Wirkung, die sich der lotrechten nähert, die stärkere ist.

[2]) M.-D, fol 1 r: „Nonfecie lanatura equale potentia nella virtu visiua madie attal virtu tanta maggiore potentia quanto essa sauicina al suo cientro ecquesto fecie pernon ronpere laleggie data attutte laltre potentie lequali tanto piu vagliano quanto piu savicinano aesso cientro ecquesto siuede nellatto della perchussione diqualunche chorpo enelli sosstentachuli delle braccia dellabilancia doue il peso achostandosi diminuisscie lasua gravita vedesi nelle colonne muri eppilasstri vedesi nelcalore eintutte altre potentie naturali." (Ohne Figur.)

Außerdem erwähnt er noch, daß die reflektierte Bewegung schwächer sei als die direkte, weil diese eben kürzer ist und beim Aufprall Kraft verloren geht[1]).

Diesen Gedanken hat Leonardo seinen Vorgängern entlehnt, denn wir wissen, daß Ibn al Haitam bereits schrieb, daß starkes Licht das schwache verdunkele[2]). Wenn auch, wie bereits oben gesagt, dieser Gedanke nicht klar aus Leonardos Worten zu erkennen ist, so hat er aber wohl die Anregung zu seinem Ausspruche aus der angeführten Stelle von Ibn al Haitam bekommen.

Auch spricht Ibn al Haitam davon, daß die Basis des Sehkegels eine verhältnismäßig kleine ist, wenn das Auge scharf erkennen will[3]).

Außerdem deckt sich die Ansicht Leonardos, daß die Strahlen wieder Strahlenkegel bilden, ganz genau mit der Ansicht des eben genannten arabischen Gelehrten[4]).

„Die Natur schuf in der virtus visiva keine gleichmäßige Kraft, aber sie gab dieser virtus eine um so größere Stärke, als sie sich mehr ihrem Zentrum nähert. Sie schuf dies, um nicht das Gesetz, das allen anderen Kräften gegeben ist, zu brechen, die um so kräftiger wirken, als sie sich diesem Zentrum nähern; man sieht dies bei dem Akt des Stosses eines beliebigen Körpers und bei den Unterstützungen der Arme der Wage, wo das Gewicht, wenn es sich [ihrem Zentrum] nähert, seine Schwere vermindert; man sieht es an den Säulen, Mauern, Pfeilern, man sieht es bei der Wärme [der senkrecht auffallenden Sonnenstrahlen] und bei allen anderen Kräften der Natur.“

Da Leonardo sich hier auf das Beispiel der Wage beruft, so müssen wir bemerken, daß ihm die Euklidische Schrift „de ponderoso et levi“ bekannt war, die diese Fragen behandelt. Näheres bei Vogl, l. c., S. 92.

[1]) M.-L, fol. 42 v: „Ilmoto reflesso sara tanto piv debole quanto esso fia piv corto.“

„quel moto refresso sara piv corto ilqua le sicavsa damagore percussione.“ (Ohne Figur.)

„Die reflektierte Bewegung ist um so schwächer, als die direkte kürzer ist.

Die reflektierte Bewegung wird kürzer sein, die sich durch einen stärkeren Aufprall verursacht.“ Und:

M.-I, fol. 43 v: „tal balzo sidi manda moto reflexo chesenpre fia piv debole chelmoto retto.“ (Ohne Figur.)

„Dieser Zurückprall nennt sich reflektierte Bewegung, die stets schwächer ist als die direkte Bewegung [einfallende].“

[2]) Vergl. Alhazens Opt. thes. I, prop. 2 und 32.

[3]) Ibid., prop. 15.

[4]) Ibid., prop. 19 (hier ist auch die Rede von den „lineae perpendiculares“.)

Auch die Bezeichnung „Pyramidenlinie“ findet sich dort. Leonardo hat also hier eine feste Grundlage.

Vielleicht neigt er auch der *συναυγεία* zu, von der bei Alhazen[1]) die Rede ist, oder der noch weiter gehenden Lehre bei Roger Baco.

Daß die Wahrnehmung von etwas Gesehenem durch einen Strahlenkegel stattfindet, hat bereits Euklid[2]) ausgesprochen, der auch die besondere Rolle der Achse des Strahlenkegels betont. Auch Ibn Chaldûn[3]) läßt sich hierüber im gleichen Sinne aus, ebenso Nasîr al Dîn al Tûsî[4]) in seiner Einleitung zu seinem Werke über die Optik des Euklid.

Die Anschauung, daß das Sehen eines Gegenstandes so stattfinde, daß sich auf einer zwischen Auge und Gegenstand gelegenen Ebene zwei Kegel treffen, von denen der eine vom leuchtenden Gegenstand, der andere vom Auge ausgeht, ist bereits bei der Betrachtung dieser Sache selbst als von Roger Baco bekannt ausgesprochen; außerdem findet sie sich auch bei den Arabern[5]).

Auf welcher Ebene jedoch die beiden Pyramiden zusammentreffen sollen, ist nach Leonardo nicht recht zu verstehen. Wenigstens konnte keine genügende Erklärung bei ihm gefunden werden.

Hier sei noch eine weitere Stelle[6]) gegeben, die eben-

---

[1]) Ibid., prop. 20, wo es u. a. heißt: „oculus et sphaera crystallina habent idem centrum.“

[2]) Euklid, S. 139.

[3]) Text Bd. 3, S. 104, Übers. Bd. 3, S. 144 (vergl. hierzu Wiedemanns Beitrag V, 1905, S. 439).

[4]) Vergl. dens. Beitrag, S. 440 und 441.

[5]) Vergl. dessen Beitrag II, 1904, S. 339.

[6]) M.—G, fol. 53v: „La presspectiva adopera nelle disstantie due contrarie piramide delle quali lu na allan gholo nellochio ella basa remota insino allorizonte La sechonda alla basa didiuerso lochio ellangholo allorizzonte Malla prima attende allo vniversale abracciando se tutte lequan titta delli corpi anti posste allochio cho me sarebbe vngran paese veduto per isstretto spiracholo chettanto maggiore numero dichose pertale spirachol siuede quanto esse choseson piu remote dattale ochio echosi sigienera labasa allorizon te ellangholo nellochio chome disopra dissi.

La seconda piramide sesstende nun partichu lare ilqual sidimostra tanto minore quanto piu siremove dellochio ecquesta seconda presspectiva nasscie dalla prima“ (ohne Figur).

falls von entgegengesetzten Pyramiden handelt, aber auch hier ist der Sinn schwer zu ermitteln.

Zum Schlusse seien noch zwei Aussprüche angeführt, nach denen einmal jede Basis die Luft mit unendlich vielen Pyramiden anfüllt und andererseits jeder Punkt unendlich viele Basen verursacht[1]).

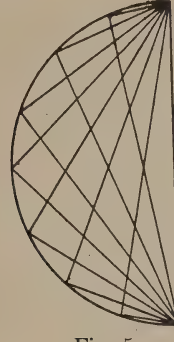




Fig. 5.

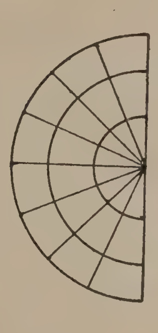


Fig. 6.

Leider gibt Leonardo hier keine weiteren Erklärungen, so daß wir seine Ansichten nur aus den beigefügten Figuren erschließen könnten. Fig. 5 läßt deutlich eine gemeinschaftliche als gerade Linie gezeichnete Basis erkennen, während sämtliche Dreiecke (sc. Pyramiden) ihre Spitzen auf dem Kreisbogen haben, dessen Grundflächen die eben genannte Basis ist.

Nach Fig. 6 gehen von einem Punkte mehrere Linien

„Die Perspektive verwendet in den Entfernungen zwei entgegengesetzte Pyramiden, deren eine den Winkel im Auge und die Basis am Horizont hat; die zweite hat die Basis von der Seite des Auges und den Winkel im Horizont. Aber die erste bezieht selber sich auf den allgemeinen Fall, indem sie alle Größen der Körper, die vor dem Auge stehen, umfaßt, wie eine große Landschaft durch eine enge Öffnung gesehen würde, wie viel die Zahl der Gegenstände größer ist, die man durch eine solche Öffnung sieht, um so viel sind die Gegenstände von diesem Auge entfernt. Und so bildet sich die Basis im Horizonte und der Winkel im Auge, wie ich oben gesagt habe. Die zweite Pyramide erstreckt sich auf einen Teil, der sich um so kleiner zeigt, je mehr er sich vom Auge entfernt; und diese zweite Perspektive entsteht aus der ersten.“

[1]) C.-A., fol. 126r—a: „Ogni basa empie l' aria d' infinite piramide. Ogni punto causa infinite base“ (siehe Figur 5 und 6).
„Jede Basis erfüllt die Luft mit unendlich vielen Pyramiden.
Jeder Punkt verursacht unendlich viele Basen.“

aus, die auf den einzelnen als Kreis gezeichneten Kugeln Basen ausschneiden, die als die Basen zu betrachten sind. Durch die einzelnen Kreise dürften wohl die von einem Punkte ausgehenden und vom Zentrum sich gleichartig entfernenden Bewegungen dargestellt sein.

VI. Das Auge.

Bevor wir die Sehtheorie Leonardos näher besprechen, wollen wir seine Anschauung vom Auge betrachten.

Wie wir wissen, war Leonardo auch Anatom und soll entgegen dem damaligen Brauch eine Reihe von Sektionen an menschlichen Körpern vorgenommen haben. Daher ist es erklärlich, daß er sich auch mit dem Auge in ausgedehntem Maße beschäftigt hat, zumal er ja in den Werken der Alten und der Vorgänger über den Bau des Auges und über die Tätigkeit seiner einzelnen Teile bereits eingehende Angaben gefunden hat. Auch ist zu bedenken, daß ihn als Maler das Auge interessiert hat, so wird an seinen Gemälden ganz besonders der Ausdruck der Augen gerühmt.

In den verschiedenen Codices sind zahlreiche Aussprüche und Betrachtungen über das Auge und seine Funktionen zu finden, besonders aber sind sehr zahlreich die Abbildungen des ganzen Auges und seiner Teile. Leider gibt Leonardo nirgends eine zusammenhängende Darstellung der einzelnen Teile, soweit ich wenigstens feststellen konnte. Sie müssen aus den verschiedenen Aussprüchen entnommen werden. Aber auch hier bereitet das Zusammenfassen Schwierigkeiten, weil er so häufig mit den Worten und Bezeichnungen wechselt, daß man in vielen Fällen nicht genau weiß, was er eigentlich mit diesem oder jenem Ausdruck sagen will. Wahrscheinlich hat dies seinen Grund darin, daß Leonardo Werke verschiedener Vorgänger zur Verfügung gehabt und aus ihnen einzelne Aussprüche entnommen und kopiert hat.

Hervorgehoben muß hier werden, daß Leonardo im sogenannten Manuskript D der Pariser Sammlung fast ausschließlich vom Auge spricht. Selbstverständlich sind auch in den anderen Werken Darstellungen und Besprechungen zu finden.

In bezug auf die einzelnen Teile des Auges sei hier gleich darauf hingewiesen, daß Leonardo nur sehr wenige Bezeichnungen gebraucht, was um so mehr in Erstaunen setzt, weil wir z. B. bei den Arabern äußerst eingehende Beschreibungen, ja besonders Bezeichnungen finden, die aus der Zeit der damaligen arabischen Gelehrten stammen und seit dieser Zeit beibehalten sind (z. B. „Retina", „Sklerotica" u. a. m.[1]).

Zu der hier folgenden Aufzählung wird bemerkt, daß die einzelnen Stellen nur ganz kurz bezeichnet sind und sich sämtlich in der darauffolgenden eingehenderen Besprechung wiederfinden.

Nicht häufig spricht er vom Sehnerv[2]. Daß es deren zwei gibt, läßt die unten zuerst angeführte Stelle erkennen. Aber von der „pia mater", der „dura mater" oder dergl. ist nirgends etwas erwähnt, trotzdem doch diese Ausdrücke s. Z. üblich waren.

Auch die Ausbreitung des Sehnervs, der „Retina", hebt er, soweit ich feststellen konnte, an keiner Stelle hervor.

Das Sehloch selbst bezeichnet er mit Pupille[3]. Die Traubenhaut (uvea; bei Leonardo „lughea" und „luvea"[4]) wiederum ist sehr selten erwähnt; die Iris bezeichnet er mit „luce".

Weitere Angaben über die Häute des Auges sind mir nicht begegnet.

Von den Feuchtigkeiten des Auges ist zu nennen: der Kristallkörper („spera crisstallina"[5]), der Glaskörper („spera uitrea"[6]), die Linse („omore crisstallino"[7]) = humor crystallinus) und die im anderen Teile des Auges befindliche feuchte Substanz („omore albusineo"[8])[9]) = humor albugineus oder h. aqueus).

---

[1]) Vergl. Hirschberg und Lippert, Die Augenheilkunde des Ibn Sînâ, Leipzig, 1902, S. 13; Kaufmann, Über die Sinne, Leipzig, 1884, S. 87 u. s. f. Auch Hirschberg, Geschichte der Augenh., Bd. 2, S. 155.

[2]) M.-D, fol. 3 r, v, fol. 7 v („nerui ottici").

[3]) Vergl. die zahlreichen nachfolgenden Stellen.

[4]) Z. B. M.-D, fol. 3 v.

[5]) M.-D, fol. 2 v, 3 v; M.-W. L. 145; B a (nach Richter Bd. I, § 78).

[6]) M.-D, fol. 3 v.

[7]) M.-D, fol. 5 v und 7 v.

[8]) M.-D, fol. 7 v.

[9]) Eigentlich: „albugineo"; „albusineo" ist die venetianische Aussprache.

Die Eigenschaften der Augenteile werden nach den verschiedenen Aussprüchen Leonardos hier besprochen. Leider ist aber keine Angabe zu finden, aus der wir entnehmen können, welche Ansicht sich Leonardo selbst gebildet hat. Wie so häufig sind die Angaben nicht übereinstimmend, sei es, daß er sie aus anderen Werken kurzerhand abgeschrieben hat, sei es, daß er beim Studium dieser Sachen selbst zu dem betreffenden Ausspruch gekommen ist.

Daß Leonardo mit der Auffassung seiner Zeit angenommen hat, daß der gesehene Gegenstand in der hinteren Wölbung des Auges aufrecht steht und in dieser Weise wahrgenommen wird, ergibt sich aus den Zeichnungen und Besprechungen. Niemals stellt er, und zwar entgegen seiner sonstigen Gewohnheit, die umgekehrte Ansicht hin und versucht auch nirgends, diese entgegengesetzte Ansicht einmal zu begründen oder zu verteidigen.

Was die Zeichnungen des Auges betrifft, so finden sich deren bei Leonardo eine große Zahl. Sie sind durchwegs entworfen, um den Strahlengang im Auge zu zeigen, weshalb wir sie auch in der folgenden Besprechung der Sehtheorie aufführen.

Verhältnismäßig sehr wenig hat Leonardo jedoch über die einzelnen Teile des Auges geschrieben. Und, wie die hier angeführten Stellen beweisen, hat er sie eigentlich immer nur gelegentlich erwähnt.

Nur über die Pupille wurden einzelne Aussprüche gefunden, die hier angeführt seien.

Warum die Pupille (natürlich die des menschlichen Auges) schwarz ist[1]), versucht er dadurch zu erklären, daß die uvea (Traubenhaut) ebenfalls schwarz ist.

---

[1]) M.-D, fol. 3v: „Lapopilla enera perche luvea chenera sispechia nella spera crisstallina cheinmezzo allaspera albuginia eancora par piu nera perche illume dellaria nonpo alluminare lasspera albuginia persistretto spiraculo quale quel della popilla dellochio“ (ohne Figur).

„Die Pupille ist schwarz, weil die uvea [Traubenhaut], die schwarz ist, sich auf dem Kristallkörper spiegelt, der in der Mitte der sphaera albuginia [? d. V.] liegt und erscheint noch schwärzer, weil das Licht der Luft nicht die sphaera albuginia durch eine Öffnung erleuchten kann, die so eng ist als die Pupille des Auges.“

Diese Stelle zeigt aber, daß Leonardo das Auge und seine Funktionen nicht richtig erkannt hat. Denn sonst würde er nicht die Pupille und die uvea in einen solchen Zusammenhang gebracht und eine solche Erklärung gegeben haben.

Jedoch sagt er in der Einleitung zu einer anderen Stelle, daß die Iris ihre „Pupille" hat, er weiß also hiernach, daß Iris und Pupille im Zusammenhange stehen (siehe die nächst angeführte Stelle).

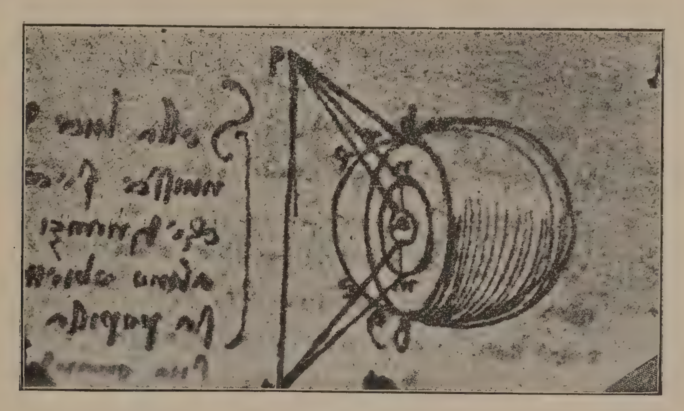


Fig. 7.

Über die Vergrößerung und Verkleinerung der Pupille handeln eine Reihe von Aussprüchen.

An einer Stelle[1]) hat er zur Erklärung einen Augapfel perspektivisch (siehe Fig. 7) gezeichnet.

---

[1]) M.-D, fol. 4r: „Sella luce dellochio alla sua pupilla che cressce ediminuissce secondo ilsuperchio omancamento dellossplendore chedinanzi sele oppone eglie necessario checiasscuno altro obietto sidimosstri magore ominore aessa popilla eprouasi sia la luce. h g. ella popila sua grande sia n m che uede lobbietto qu sulconuesso della luce infra. r. q [sic!] a. sia poi la popilla diminuita ecosi simostrera diminuito lobbietto q u sopra la conuesita della luce nello spatio p t donde —" (Fig. 7).

„Wenn die Lichtstelle [Iris] des Auges ihre Pupille hat, die zu- und abnimmt, je nach dem Überfluß oder Mangel an Glanz des Gegenstandes, der ihr begegnet, ist es nötig, daß jeder andere Gegenstand sich mehr oder weniger groß dieser Pupilie zeigt. Und man beweist es. Es sei h g die Iris, n m sei die große Pupille, die den Gegenstand q u sieht auf der konvexen Seite der Iris zwischen r q [p]; dann sei a die verminderte Pupille, und so wird

Aber trotzdem sind die einzelnen Teile nicht recht zu unterscheiden. Wenn auch ein größerer Kreis die Irisumrandung und zwei kleinere die Pupille in zwei Lagen darstellen sollen, so ist diese Stelle doch nicht leicht verständlich. Es soll wohl einmal die Pupille im großen Zustande, das andere Mal im zusammengedrückten gemeint sein. Zieht man von den Endpunkten des Gegenstandes Linien nach der „größeren" Pupille (n m), so schneiden diese Linien aus der

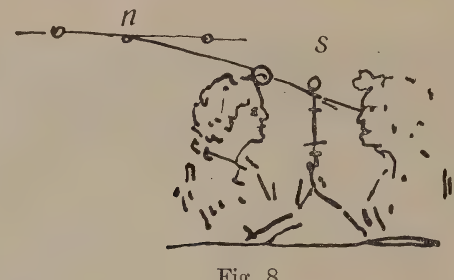


Fig. 8.

konvexen Seite der Iris (die durch den linken Kreisbogen dargestellt ist) einen größeren Teil heraus, als die von den Endpunkten des Gegenstandes nach der „kleineren" Pupille gezogenen Linien es tun. Aus diesem Grunde soll sich auch der Gegenstand der größeren oder kleineren Pupille mehr oder weniger groß zeigen.

Außerdem seien noch zwei Stellen[1][2]) angeführt.

---

sich der Gegenstand q u vermindert zeigen auf der konvexen Seite der Iris in dem Raume p t [s], woher . . ."

(Hierzu vergleiche S. 54, wo diese Stelle nochmals behandelt ist).

[1]) M.-I, fol. 20r: „— Lapopilla del lochio. stante allaria inogni grado dimoto fatta dalsole muta gradi. dimagnitudine —

— E inogni grado. di magnitudine una medesima cosa veduta sidimoster ra didiuerse grandezze) ben chespesse vol te il paragone dele cose circhunstanti non lasscino disciernere tali mvtatione du na sola cosa chessi rissguardi —" (ohne Figur).

„Die Pupille des Auges, die an der Luft ist, wechselt bei jedem Grade der Bewegung der Sonne ihre Größe [wobei sich die Helligkeit ändert].

Und bei jedem Grade der Größe wird sich derselbe gesehene Gegenstand in verschiedenen Größen zeigen, obgleich oft die Vergleichung der umgebenden Gegenstände nicht solche Veränderungen eines einzelnen Gegenstandes, den du anblickst, unterscheiden läßt."

[2]) M.-I, fol. 19v: „Sperienza della cresscimento edi minvitione delle popila pel moto del sole odaltro luminoso —

Alsdann kommen wir zur Linse, die Leonardo als einen Teil der Pupille betrachtet[1]), und zwar in ihr befindlich. Diese Ansicht ist nicht richtig.

Dann sei noch eine Stelle[2]) gegeben, die von scharfen Sehen bezw. genauen Erkennen handelt.

Wenn man nämlich über einen Gegenstand (Fig. 9), der

(Quan ilcielo sara piu ossuro tantole stelle sidimosteran di magiore figura) essettu allumini ilmezo esse stelle sidimosteran minori ecquesta tale mutatione sol nasscie dalla popilla laquale cresscie ediscre scie mediante laciareza delmezo chessi truoua infrallochio elcorpo luminoso

Sia fatto la sperienza convna candela po sto sopra latesta inelmedesimo tenpo chettu risguardi tale stella dipoi vieni abbassando dettacandela apocho apoco insino chella sia uicina alla linia cheuiene dalla stella allochio e allora uederai diminuire tanto lastella che quasi laperderai di uissta —" (Figur 8).

„Versuch der Vergrößerung und der Verkleinerung der Pupillen durch die Bewegung der Sonne oder eines anderen leuchtenden [Körpers].

Je dunkler der Himmel sein wird, um so größer werden sich die Sterne zeigen. Und wenn du den Zwischenraum erleuchtest, werden sich die Sterne kleiner zeigen. Und diese Änderung entsteht nur durch die Veränderung der Pupille, die wächst und abnimmt je nach der Helligkeit des Mittels, das sich zwischen dem Auge und dem leuchtenden Körper befindet.

Es sei ein Versuch mit einer Kerze gemacht, die über das Haupt gestellt ist, während du diesen Stern betrachtest; darauf senke die genannte Kerze langsam, bis sie der Linie nahe ist, die vom Stern zum Auge kommt, und dann wirst du um soviel den Stern sich verkleinern sehen, daß du ihn fast aus dem Auge verlierst."

[1]) M.-D, fol. 5v: „lomore cristallino chesta dentro alla popilla sicondensa arisscontro delle cose lucide essi rarefa al riscontro delle cose osscure . . ." (ohne Figur).

„Die Linse [humor crystallinus], die sich im Innern der Pupille befindet, kondensiert sich beim Auftreffen der Gegenstände, die leuchten, und verdünnt sich gegenüber dunklen Gegenständen."

[2]) M.-E, fol. 15r: „Litermini di quel chorpo antipossti alla pu pilla, dellochio sidimosterran tanto meno noti quanto esaranno piu vicini aessa popilla.

Provasi perlo stremo del chorpo n antipossto alla popilla d laquale neluedere es so termine vede anchora tutto losspatio a c chee dila daesso termineelesspetie che vengha daesso spatio simistano cholla spetie ditalter mine echosi luna spetie chonfonde laltra — ettal chonfusione priva lapopilla della notitia ditaltermi ne" (Fig. 9).

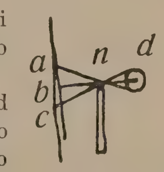


Fig. 9.

„Die Grenzen der vor die Pupille des Auges gestellten Körper werden sich um so weniger kennbar zeigen, je näher sie dieser Pupille sind.

dicht vor dem Auge steht, einen weiter entfernten Gegenstand genau betrachtet, so kann man die obere Kante des ersteren nicht scharf sehen. Dies liegt bekanntlich daran, daß sich das Auge nicht gleichzeitig auf zwei Entfernungen akkommodieren kann, d. h. natürlich, wenn der eine der zu betrachtenden Gegenstände sich in ziemlicher Nähe des Auges befindet. Leonardo erklärt es mit den Spezies, die von jedem Gegenstande kommen, und zwar so, daß die Spezies des entfernteren die Spezies an der Grenze des näheren durch gegenseitige Vermischung undeutlich macht.

Wie wir einer der angeführten Stellen entnehmen konnten (M.-D, fol. 3v, S. 50 d. W.), spricht Leonardo davon, daß die Traubenhaut (uvea) schwarz ist. Hier schließt er sich wiederum Roger Baco[1]) an, nach dessen Ansicht dies der Fall ist, „damit das Licht stärker wirke". Weiter fanden wir (M.-D, fol. 4r, S. 51 d. W.) bei Leonardo die Ansicht, daß sich die „luce verändert, und zwar erweitert, sobald Helligkeit auf sie einwirkt, und daß sie sich verengert, sobald sie sich im Dunkeln befindet. Meint er nun mit „luce" die Pupille, so würde sich nach ihm diese bei größer werdender Helligkeit erweitern[2]). Das ist bekanntlich nicht richtig. Den wirklichen Sachverhalt, daß mit steigender Helligkeit die Pupille enger wird, hat

---

Man weist dies nach durch die Grenze des Körpers n, der vor die Pupille d gestellt wird. Diese Pupille sieht, während sie diese Grenze sieht, auch den ganzen Raum a c, der jenseits dieser Grenze n ist. Die Spezies, die von diesem Raume kommen, mischen sich mit den Spezies dieser Grenze. Und so erzeugt die eine Spezies bei der anderen Undeutlichkeit [Konfusion], und die Undeutlichkeit beraubt die Pupille der [Fähigkeit], diese Grenzen wahrzunehmen".

[1]) Roger Baco, op. mai. 32—34., vergl. hierzu Vogl, l. c., S. 53 u. 54.

[2]) Vergl. z. B. C.-A., fol. 125 r—a. Der italienische Text lautet:

„Io truovo per isperienzia che il nero, o quasi nero, colore crespo ovver rasposo, che apparisce intorno alla popilla, non servire a altro ofizio che accrescere o discrescere la grandezza d' essa popilla; crescere, quando l' occhio guarda in loco scuro, discrescere, a guardare il lume o cosa luminosa. E la sperienza farai a tenere un lume apresso a un occhio e farlo quando guardare nelle tenebre, e quando volgere la luce a esso lume, e sarai sadisfatto da essa sperienzia".

bisher Al-Razî[1]) ausgesprochen; von den Alten liegen uns keine entsprechenden Nachrichten vor.

Soll jedoch „luce“ die Iris bedeuten, was anzunehmen ist, so hätte Leonardo recht, da sich diese ja vergrößert, wenn die Pupille kleiner wird.

Bei der Betrachtung der gegebenen Zeichnungen fällt es auf, daß die Mittelpunkte der einzelnen Schichten, Kugeln u. s. w., sowie der Sehnerv stets auf einer geraden Linie liegen, die zugleich die Sehachse ist. Hier hat sich Leonardo wohl besonders wieder Roger Baco angeschlossen, der ebenfalls das Auge in dieser Art dargestellt hat.

Aus Vorstehendem erkennen wir wiederum, daß Leonardo auch auf dem vorliegenden Gebiete von seinen Vorgängern abhängig ist und nichts Neues gebracht hat.

VII. Sehvorgang nach Leonardo da Vinci.

Um die Anschauung Leonardos über den Sehvorgang zu gewinnen, ist es nötig, die größtenteils aphoristischen und manchmal sehr unklaren Bemerkungen hierüber mit den vielen Zeichnungen über das Auge und den Strahlengang in diesem in Einklang zu bringen. Wenn wir dabei beiseite lassen, was der Autor offenbar nur probeweise bei seinen Studien skizziert hat, und uns auf seine vollkommeneren Bilder beschränken, so können wir seine Sehtheorie etwa in folgender Weise darlegen:

Es treten durch die Pupille, womit Leonardo die kleine, runde Öffnung in der Traubenhaut[2]), das sogenannte Sehloch, bezeichnet, die Strahlen ein, die von den Farben der Objekte mit Hilfe des Lichtes[3]) ausgehen. Dabei nimmt er ganz

---

[1]) Vergl. Hirschberg und Lippert, Die Augenheilkunde des Ibn Sînâ, Leipzig, 1902, S. 13.

[2]) In der Mitte der Iris. Mit uvea, Traubenhaut, bezeichneten die Alten das System der Aderhaut und Iris zusammen.

[3]) Die Bedeutung des Lichtes für das Sehen ist natürlich Leonardo schon aus seinen Vorgängern geläufig. Im Anklang an die Optik des Ptolemäus (I) und al Kindî ‚de aspectibus‘ befindet sich folgende Stelle:

M.—Ash$_2$, fol. 10r: „Quella. chosa. cheperchiareza fia. piv. simile. alla. luce. fia. veduta. piv. dallontano edimagiore. forma chenonsi richiede alla qualita delchorpo. indetta. disstantia“ (ohne Figur).

in Anlehnung an Alhazen[1]) an, daß diese Strahlen die Form eines Kegels bilden[2]), der seine Spitze im Sehloche hat, oder wie einige Zeichnungen dartun, in einem Punkte, der in kleiner Entfernung hinter dem Sehloche liegt[3]). Dieser Punkt käme also demjenigen nahe, den wir als den optischen Mittelpunkt der Augenmedien bezeichnen, der nahe an der Hinterfläche der Linse liegt. Die unsichtbaren Strahlen, die von den Objekten ausgehen, zielen zum Auge hin, da ja dieses, wie schon vorher bemerkt, sich zur Zielscheibe und zum Magneten für die Spezies macht. Dort, wo sie zu einer Spitze zusammenlaufen, befindet sich die Sehkraft (virtus visiva)[4]). Sie ist nicht ein bloßer Punkt, sondern beseelt nur vom Vereinigungspunkt aus nach vorwärts und rückwärts die Pyramidenlinien[5]), die

---

„Dasjenige Ding, das durch Helligkeit ähnlicher dem Lichte [luce] ist, wird aus größerer Entfernung und von größerer Gestalt gesehen, als man von der Art des Körpers in der genannten Entfernung erwartet.“

[1]) Opt. thes. I, 19.

[2]) M.—A, fol. 3r: „— linie. piramidali. intendo esere quelle. lequali. sipartano dasuperfitiali strestremi dechorpi. eperdistante chonchorso. sichonduchano. a uno solo punto.“ (Ohne Figur.)

„Unter Pyramidenlinien verstehe ich diejenigen, die von den äußeren Grenzen der Körper kommen und sich dadurch, daß sie an einem entfernten Ort zusammenlaufen, zu einem einzigen Punkt begeben.“

[3]) Alhazen legt die Spitze des Kegels in die Mitte der Linse (superior glacialis). Die Pyramidenlinien stehen dann auf der Oberfläche der Linse senkrecht und bestimmen dort ein verkleinertes Bild des Objektes.

[4]) M.-D, fol. 6v: „Lapopilla dellochio auirtu visiua tutta pertutto e tutta inogni sua parte ella cosa anti posta allochio minore della sua popilla nonochupa allochio nessuno altro obbietto remoto. ebenche sia densa fa ofitio di cosa transparente“ (ohne Figur).

„Die Pupille des Auges hat eine virtus visiva, die überall ganz vorhanden ist, und ganz in jedem der Teile; und der vor das Auge gestellte Gegenstand, der kleiner als seine Pupille ist, bedeckt nicht für das Auge einen anderen entfernten Gegenstand; obgleich er dicht ist, wirkt er wie ein transparenter Gegenstand.“

Die Ansicht Leonardos über diese Sehkraft, die auch kegelartig verdeckt und dem Strahlenkegel der Körper entgegenkommt und ihn im Auge begleitet, deckt sich wiederum mit Alhazen (Opt. I, 23).

[5]) C.-A., fol. 138r—a: „Onde io giudico che la virtù spirituale delle spezie delli occhi si faccino incontro all' obbietto co' le spezie dell' obbietto all' occhio“ (ohne Figur).

nach der Vereinigung wieder divergieren und auf die entgegengesetzte Seite gehen, so daß also, was rechts war, auf die linke Seite kommt, und was links war, auf die rechte, wie früher beim Gange der Spezies durch eine Öffnung dargelegt wurde. Das Auge sieht aber das Rechte rechts, das Linke links. Dies erklärt Leonardo dadurch, daß die Strahlen nach der Vereinigung im Sehloch zwar wieder auseinandergehen,

---

„Daraus schließe ich, daß die geistigen Eigenschaften der Spezies der Augen dem Objekte begegnen, wie die Spezies des Objektes dem Auge".

Und:

M.—A, fol. 10r: „— Prosspectiua. eragione. dimostratiua. perla quale. lassperientia chonferma tutte. lechose. mandare. allochio. per linie. piramidali. laloro. similitudine linie. piramidali. intendo. esserquelle. lequali. sipartano. daisuperfitiali. stremi dechorpi. eperdistante. chonchorso. sichonduchano. avno. solo. punto. ilquale punto. inquesto chaso. mostero essere. cholochato. nellochio. vniversale givdice ditutti icorpi punto. dicho. esser. quelo. ilquale nonsi. po. diuidere. inalchuna. parte adunque sendo. questo puncto indiuisibile. checholochato nela uista. nessuno. corpo. fia veduto. dalochio. chenonsia magiore dessopunto. essendocosi eneciessario. chelle linie chevegano dalcorpo alpunto. sieno piramidate esse alcuno volessiprovare. lauirtu. visiua. nonconsistere inessopunto anzi essere quelo puntonero chesiuede imezo alla popilla acquesti sipotreberispondere. chevna piciolachosa mai potrebe diminvire peralchuna distantia. come sare uno grano di miglo o di panicho o altra similechosa ecquelacosa. cheffussi magiore chedetto punto maipotrebe essere veduto interamente come apare nela prova di socto." (Ohne Figur.)

„Die Perspektive ist [eine] demonstrative Begründung, durch die das Experiment bestätigt, daß alle Dinge zum Auge in Pyramidenlinien ihr Bild senden. Unter Pyramidenlinien verstehe ich solche, die von den Oberflächenbegrenzungen der Körper kommen und sich dadurch, daß sie an einem entfernten Ort zusammenlaufen, an einem einzigen Punkte befinden; dieser Punkt, von dem ich in diesem Falle zeigen werde, daß er sich im Auge befindet, ist der allgemeine Richter über alle Körper. Ich nenne Punkt das, was sich nicht irgendwie teilen läßt; daher, weil dieser Punkt unteilbar ist, [sage ich], daß kein Körper, der in dem Blick sich befindet, gesehen wird, der nicht größer ist als dieser Punkt; daher ist es notwendig, daß die Linien, die vom Körper zum Punkte kommen, Pyramiden bilden; und wenn jemand beweisen wollte, daß die virtus visiva nicht in diesem Punkte besteht, sondern daß sie vielmehr dieser schwarze Punkt ist, den man in der Mitte der Pupille sieht, könnte man ihm antworten, daß ein kleiner Gegenstand niemals in irgendeiner Entfernung, z. B. ein Hirse- oder Fennich[Gras]korn [panico Buchweizen] oder ein anderer ähnlicher Gegenstand sich vermindern könnte, und daß der Gegenstand, der größer als der besagte Punkt ist, niemals ganz gesehen werden könnte, wie es in dem untenstehenden Beweis erscheint."

gar bald aber an der Oberfläche der Feuchtigkeiten gebrochen werden und nochmals in einem Punkt, dem Mittelpunkt des Glaskörpers, sich vereinigen, worauf sie wieder auseinanderstreben und sich auf der hinteren Fläche dieser Kugel anordnen. Dabei ist das Rechte wieder auf die rechte Seite gelangt, das Linke auf die linke. Alle Teile folgen in derselben Ordnung aufeinander, wie am Gegenstande selbst. Von dieser letzten Stelle aus werden nun die beseelten Spezies zum *sensus communis* gesandt, wo sie zum Bewußtsein kommen[1]). Wir sehen den Gang der Strahlen deutlich an einer

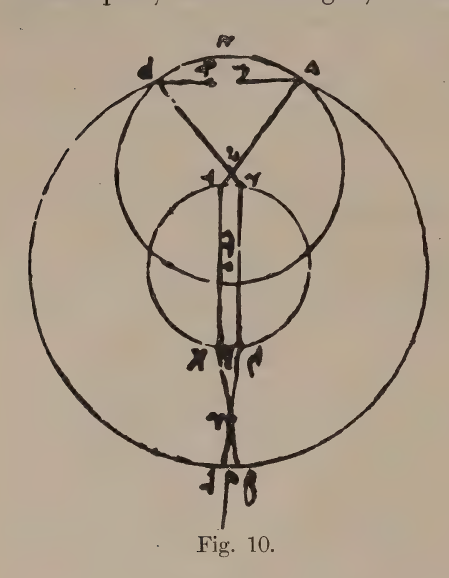


Fig. 10.

---

[1]) M.-D, fol. 2v: „La popilla dellochio cheper minimo spirachuchulo [sic] rotondo ricieve les spetie de chorpi posti dopo esso spirachulo senpre lericieue sotto sopra essenpre lauirtu visiva levede diritte come sono ecquesto nasscie chelle dette spetie passano perilcentro della spera crisstallina posta nelmezo dellochio: ein e esso cientro sunischano inpunto epoisidilatano nella oposita superfitie ditale spera nonsisuiando della lor rettitudine eintal superfitie lespetie sidirizan secondo lobietto donde son chausate e di li sonprese dallainprensiua emandate alsenso comune dove son gudichate.“ (Ohne Figur.)

„Die Pupille des Auges, die durch eine kleinste runde Öffnung die Spezies der unter [hinter] dieser Öffnung befindlichen Gegenstände empfängt, empfängt stets das obere als das unterste, und stets sieht die virtus visiva diese aufrecht, wie sie sind. Das kommt daher, weil die genannten Spezies durch das Zentrum der Kristallkugel, die sich in der Mitte des Auges befindet, gehen und in diesem Zentrum sich in einem Punkte vereinigen und dann auf der entgegengesetzten Oberfläche dieser Kugel auseinandergehen, ohne von ihrer Geradheit einzubüssen; und in dieser Oberfläche richten sich die Spezies entsprechend dem Objekt, das sie hervorgerufen hat, und von dort werden sie durch die „imprensiva“ [impressiva] aufgenommen und zum „sensus communis“ gesandt, wo sie zum Bewußtsein kommen.“

M.-D, fol. 3r: „Secondo opennione colle medessime 2 intersegationi.

Reihe von Figuren, z. B. Fig. 10 und 11, die wir nicht näher besprechen wollen. Sie zeigen zugleich in ihren vielen, jedoch

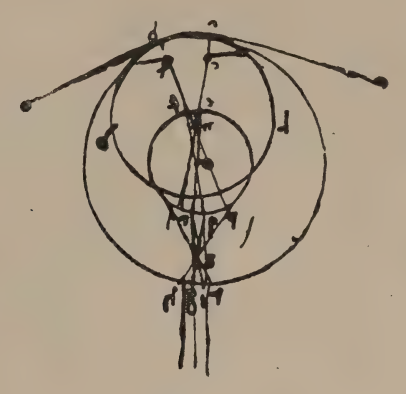


Fig. 11.

---

nonsi negha che tutte lesspetie chevengano alla superfitie della luce a n b non passino perlla popilla c d com provato e ancora siconcede che tutte lelinie desse spetie chepassano ilcentro della spera chessi principia perla detta luce. non siscanbino dadesstra assinistra edassinisstra adesstra coe che a destro passato e centro dellasspera della luce sifa sinistro in t el b sifa desstro in. r. eforte mentecresscie. perche tutto losspatio a b viene in r t e esso r t riceve vna grandezza chepare simile al a b come provato inpresspettiva — di poi non siniegha chella spera vitrea r t k h nonrenda diritto dentro alla piramide k h r evoi lariversci dopo laintersegatione delati di tal piramide nelli punti. g l adunque a sinistro sifara desstro in. t dopo la prima intersegatione. e. edisscendera siministro insino in k epassera perla 2ª intersegatione. r. eritornera sinistro inel punto. g" (Figur 10).

„Zweite Ansicht mit denselben beiden Durchschnittspunkten.

Man verneint nicht, daß alle Spezies, die auf die Oberfläche der Iris a n b kommen, nicht durch die Pupille c d gehen, wie es bewiesen ist, und ferner gibt man zu, daß alle Linien dieser Spezies, die durch das Zentrum der Kugel hindurchgehen, die in der genannten Iris beginnt, sich nicht von rechts nach links und von links nach rechts auswechseln, d. h., daß das rechte a, das durch e als Zentrum der Kugel der Iris hindurchgegangen ist, sich in t links wendet, und b sich in r rechts wendet und stark wächst, weil [der ganze] jeder Raum a b nach r t kommt und r t eine Größe erhält, die a b ähnlich erscheint, wie es in der Perspektive bewiesen ist; ferner verneint man nicht, daß der Glaskörper r t k h nicht aufrecht wird [nicht sich wendet] im Innern der Pyramide k h r, und dann [?] sie umkehrt [sich nicht umkehrt] nach dem Durchschnittspunkt der Seiten dieser Pyramide in Punkten g l. Daher wird a, das linke, rechts in t nach der ersten Durchschneidung e,

meist unwesentlichen Differenzen, wie sich Leonardo bemühte, sich den Verlauf der Spezies klarzulegen.

Indes kommen, wie Leonardo ganz richtig bemerkt, nicht alle durch das Sehloch fallenden Strahlen zum Mittelpunkt im Glaskörper, und auch von den Spezies, die im Auge rückwärts das Bild vom Gegenstande bestimmen, gelangen nicht alle zur genauen Wahrnehmung, sondern zunächst nur die, die an der

---

wird links heruntergehen bis nach k, wird durch den zweiten Durchschnittspunkt r hindurchgehen und links zum Punkte g zurückkehren."

M.-D, fol. 3r: „Come le cose destre non para esstre [sic!] alla virtu visiua selle sue spetie nonpassan perdue intersegationi.

lobietto k gunto al. b. superfitie della luce dellochio sida alla virtu visiua perle 2 intersegationi coe n s entrando prima di b in d popilla edal, d al f (e passerebbe perla intersegatione n. centro della spera della luce c o l a b v maela siscontra prima nella spera crisstallina prima chefinisca lasua piramide c d n la quale inessa percussione tal piramide c d n sitaglia in e f dove sigenera labasa dunaltra piramide coe e f o elli lati dital piramide sintersegano in o epassano alla opposita parte della spera vitria ella desstra f sifa sinistra in. q. ella sinistra e sifa desstra in r Dipoi sifa la 2ª intersegatione in s. coe chella spera vitrea gittalasua piramide q r s el r destro passa perla intersegatione s essi fa sinisstro. in i. el q sinisstro sifa desstro n g eperquesta via lochio strumenta porge alla fronte dellun denerui ottici la cosa desstro come desstra ella sini stra come sinisstra. —" (Fig. 11).

„Wie die rechten [rechts liegenden] Gegenstände nicht der virtus visiva rechts erscheinen, wenn ihre Spezies nicht durch zwei Schnittpunkte gehen.

Der Gegenstand k, der bei b angekommen ist, der Oberfläche der Iris [luce] des Auges, gibt sich der virtus visiva durch die beiden Kreuzungen, d. h. n s, indem er zuerst eintritt von b nach a, der Pupille, und von d nach f, (und er würde durch den Durchschnittspunkt n hindurchgehen) dem Zentrum der Kugel der Iris c o [?] l a b v; aber sie [die Strahlen] werden sich zuerst in der Kristallkugel treffen, bevor ihre Pyramide c d n beendet ist, welche Pyramide c d n sich in ihrem Auftreffen in e f schneidet, wo die Basis einer anderen Pyramide entsteht, d. h. e f o; und die Seiten dieser Pyramide schneiden sich in o und gehen zum entgegengesetzten Teile der Glaskugel, und der rechte f macht sich in q links, der linke e macht sich in r rechts. Darauf vollzieht sich die zweite Durchschneidung in s, d. h., daß die Glaskugel ihre Pyramide q r s wirft, und das rechte r geht durch den Durchschnittspunkt s, und macht sich links in i, und das linke q macht sich rechts in n g, und durch diesen Weg bietet das Auge, [als] Instrument der Vorderfläche des einen der Sehnerven die rechte Sache als rechts und die linke Sache als links dar."

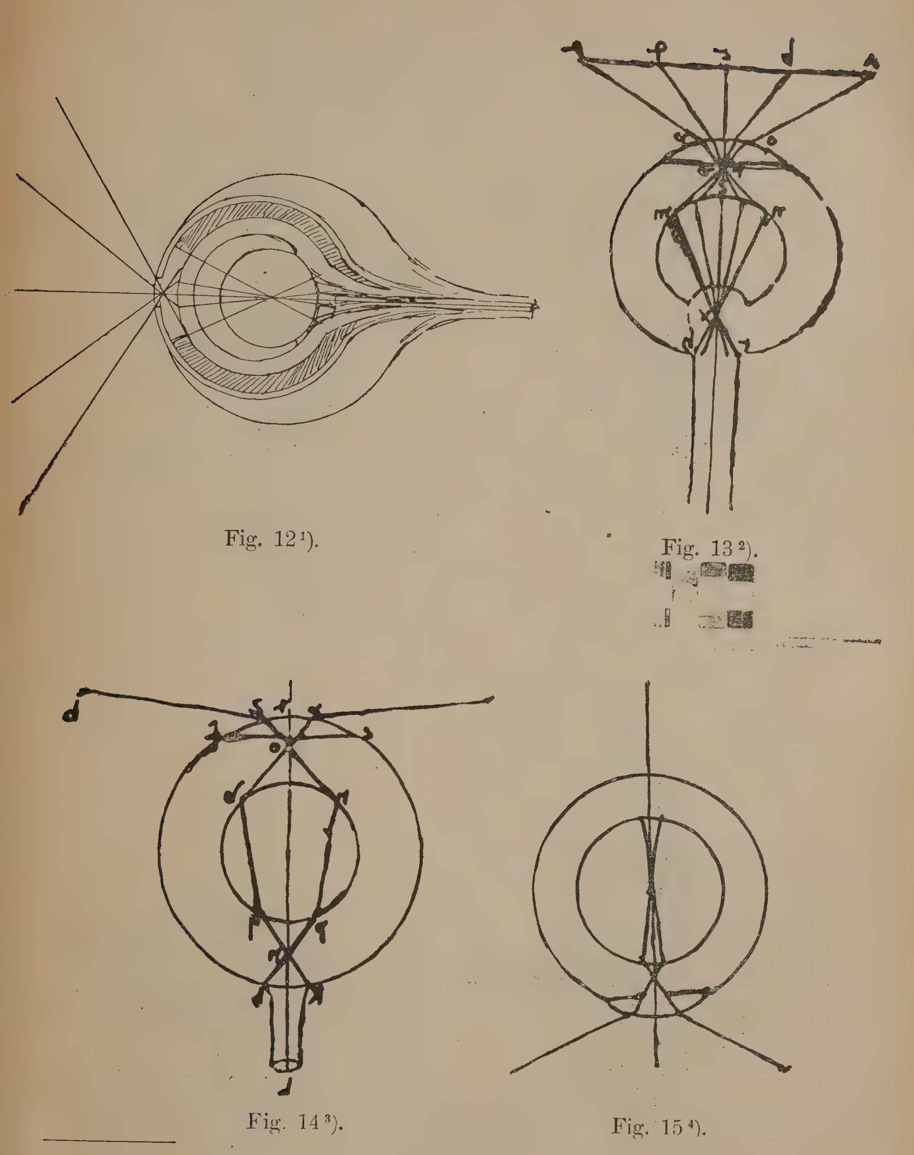


Fig. 12[1]). Fig. 13[2]).

Fig. 14[3]). Fig. 15[4]).

[1]) C.-A., fol. 337 r—a (Fig. 12, ohne Text).
[2]) M.-D, fol. 10 v (Fig. 13, ohne Text).
[3]) M.-D, fol. 3 v (Fig. 14, ohne Text).
[4]) M -D, fol. 3 v (Fig. 15, ohne Text).

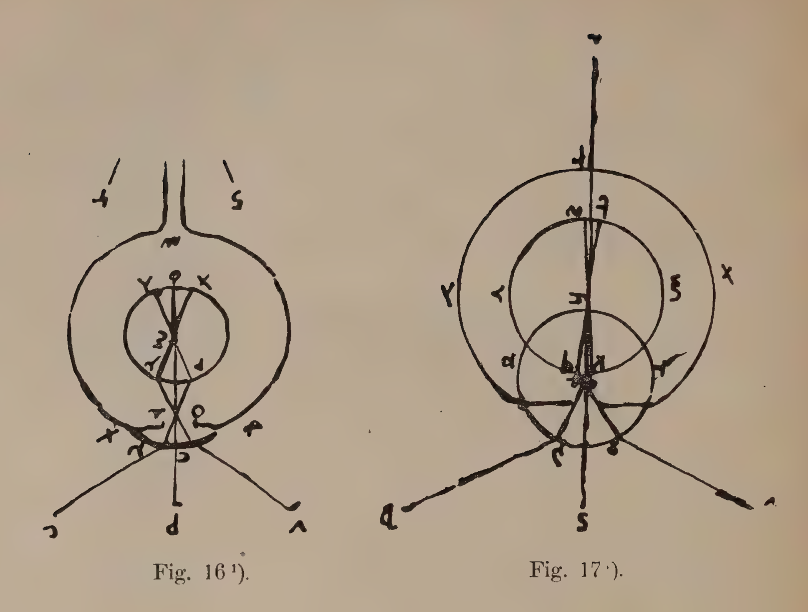


Fig. 16 [1]). Fig. 17 [1]).

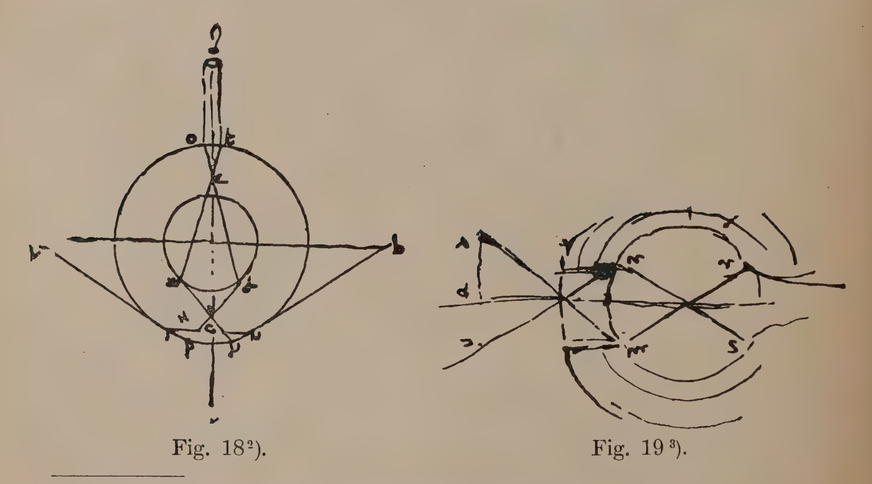


Fig. 18 [2]). Fig. 19 [3]).

[1]) M.-D, fol. 3 v (Fig. 16 und 17, ohne Text).
[2]) M.-D, fol. 8 v (Fig. 18, ohne Text).
[3]) C.-A., fol. 222 v—a (Fig. 19, ohne Text).

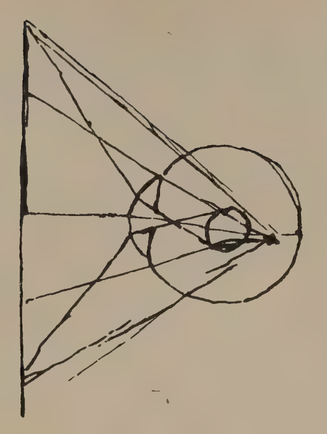


Fig. 20 [1]).

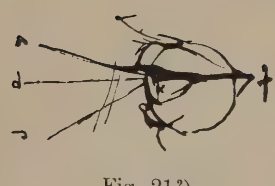


Fig. 21 [2]).

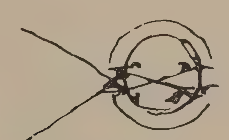


Fig. 22 [3]).



Fig. 23 [2]).

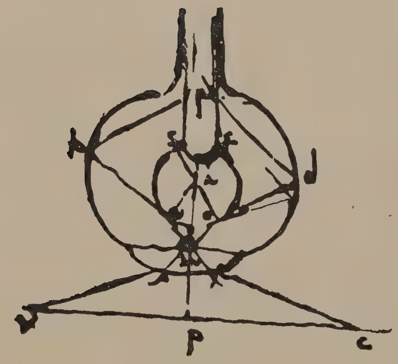


Fig. 24 [4]).

[1]) C.-A., fol. 345 v—b (Fig. 20, ohne Text).

[2]) C.-A., fol. 345 v—b (Fig. 21 u. 23, ohne Text).

[3]) C.-A., fol. 222 v—a (Fig. 22, ohne Text).

[4]) M.-D, fol. 10 r: „ciercha chidiriza le spetie dentro alla popilla —“ (Fig. 24).

„Suche, wer die Spezies wieder aufrichtet, die im Innern der Pupille sich geschnitten haben.“

Achse des einfallenden Kegels entlang gehen[1]). Will das Auge einen anderen Punkt genau erfassen, so muß diese Achse darauf gerichtet werden. Wir sehen dies genauer aus folgender Stelle[2]):

„Auf welche Weise das Auge Gegenstände sieht, die vor dasselbe gestellt sind.

Wir nehmen an, daß jene Kugel [die in Fig. 25 gezeichnet ist] der Augapfel

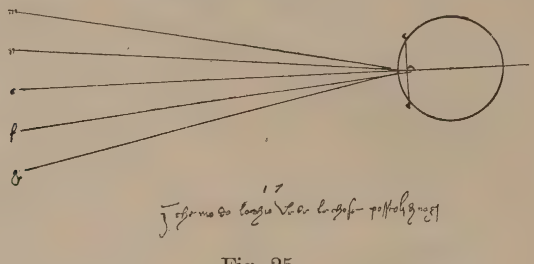


Fig. 25.

ist, und es sei der kleinere Teil der Kugel, der durch die Linie s t abgeschnitten ist, das Licht, alle die Gegenstände, die auf der Mitte der Oberfläche dieses Lichtes abgespiegelt werden durch Mittel der Pupille, sogleich auseinander und in die Pupille treten, indem sie durch eine gewisse Kristall-

---

[1]) Wir wissen, daß nur das vom Auge scharf gesehen wird, was in die lichtempfindlichste Stelle der Netzhaut, den sogenannten gelben Fleck mit dem Netzhautgrübchen (fast in der Mitte der Netzhaut), fällt.

[2]) C.—A., fol. 85 v—a: „In che modo l' occhio vede le cose postoli dinanzi.

Pognamo che quella palla figurata di sopra sia la palla de l' occhi, e quella parte minore della palla ch' è divisa dalla linia S t, sia la luce, e tutte le cose specchiate sul mezzo della superficie di detta luce subito discorrono e vanno nella popilla, passando per un certo omore cristallino, che non ne occupa nelle popille cose che si dimostri alla luce, e essa popilla, ricevute le cose dalla luce, immediante le riferisce e porge allo intelletto per la linia a b. E sappi che la popilla non porge nessuna cosa perfetta mente allo intelletto, o ver senso commune, se non quando le cose a lei date dalla luce si dirizzano per la linia a b, siccome vedi che fa la linia c a. E benchè le linie m n f g sieno vedute dalle popille, non sono considerate, perchè non si dirizzano colla linia a b. E la prova si è questa: Se questo occhio qui di sopra vorrà annumerare le lettere posteli dinanzi, converrà che l' occhio giri da lettera a lettera, perchè non la discernerebbe, se nolle dirizzassi per la linea a b, siccome fa la linia c a; e tutte le cose vedute vengono all' occhio per linie piramidate, e la punta di detta piramida fa termine e fine nel mezzo della popilla, come di sopra è figurato.

feuchtigkeit [umore cristallino] gehen*), die sich nicht in der Pupille der Gegenstände bemächtigt, die sich der Lichtstelle [Oberfl. d. Iris] darbieten**. Und wenn die Pupille die Gegenstände empfangen hat, überträgt sie sofort und übermittelt sie dem Verstande durch die Linie a b. Und wisse, daß die Pupille nichts vollkommen dem Intellekt oder senso commune übermittelt, ausgenommen, wenn die Gegenstände, die ihr von dem Lichte übergeben werden, sich längs der Linie a b bewegen, wie es auf der Linie c a geschieht. Und obwohl die Linien m n f g durch die Pupille gesehen werden, werden sie nicht in Betracht gezogen, weil sie nicht mit der Linie a b zusammenfallen. Und der Beweis ist folgender: Wenn das oben erwähnte Auge die vor ihr stehenden Buchstaben zählen will, so ist es notwendig, daß das Auge sich von Buchstaben zu Buchstaben wendet, da es sie nicht unterscheiden könnte, wenn es sie nicht auf die Linie a b brächte, welches in der Linie c a geschieht. Alle sichtbaren Gegenstände gelangen vor das Auge als Linien einer Pyramide, und die Spitze der Pyramide ist die Grenze und das Ende in der Mitte der Pupille, wie es oben gezeichnet ist.“ [Eins der seltenen Blätter mit Schriftzeichen nicht in Spiegelschrift. D. V.]

(Dieselbe Ansicht ist auch im M.—F, 15v enthalten.)

Aus all dem geht hervor, daß Leonardo auch in seiner Sehtheorie im großen und ganzen von seinen arabischen Vorgängern abhängig ist. Neu ist die doppelte Kreuzungsstelle, wodurch die zweimalige Umkehrung der Strahlenrichtung bewirkt werden soll. Zu dieser Annahme wurde er durch seine Kenntnisse über die Camera obscura geführt, bei der sich ihm eben deutlich ein umgekehrtes Bild des äußeren Gegenstandes darbot. Eine Zeichnung[1]) sagt uns, daß Leonardo diesen Vorgang auch experimentell zu demonstrieren suchte. Er nimmt eine Camera obscura zu Hilfe, deren Öffnung eine erste Umkehrung der Strahlenrichtung bewirken soll, während eine

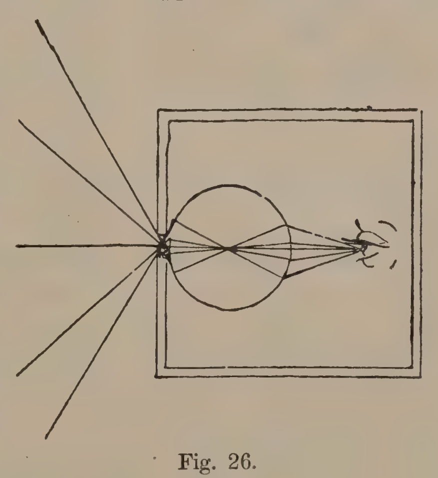


Fig. 26.

*) bis **) Diese Stelle ist nicht verständlich. D. V.

[1]) C.-A., fol. 337r—a (Fig. 26, ohne Text).

zweite durch eine Glaskugel besorgt werden soll. Ein Auge, das sich im Brennpunkte der letzteren befindet, soll dann den Gegenstand aufrecht sehen. Die Ausführung des Experimentes dürfte jedoch in der angegebenen Weise schwerlich gelungen sein, vor allem schon deshalb nicht, weil eben die durch eine Glaskugel gebrochenen Strahlen sich nicht in einem Punkte innerhalb der Kugel schneiden. (Siehe Fig. 26.)

VIII. Binokulares Sehen.

Das Sehen mit zwei Augen, das sogenannte binokulare Sehen, bewirkt bekanntlich, daß das Gesichtsempfinden nicht mehr auf zweidimensionalen, sondern auf dreidimensionalen Wahrnehmungen fußt. Die Sehachsen beider Augen richten sich nach einem Punkte, so daß der Richtungsunterschied dieser Achsen je nach der Entfernung der beobachteten Punkte ein verschiedener ist.

Es ist leicht erklärlich, daß Leonardo sich gerade mit dieser Sache eingehend beschäftigt hat, da er ihrer ja ganz besonders bei seiner Lehre von der Perspektive für die Malerei zwecks Beurteilung der Entfernung eines Gegenstandes u. dergl. bedurfte. In fast allen seinen Manuskripten sind Zeichnungen zu finden, die hierauf Bezug haben, wenn auch nur wenige einen begleitenden Text aufweisen.

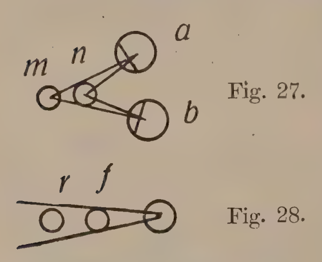


Fig. 27.

Fig. 28.

Leonardo bespricht hier eine Reihe von Möglichkeiten und zwar erstens, daß die dem Auge naheliegenden Gegenstände größer erscheinen als die entfernteren[1]).

Leider ist die dabeistehende Figur nicht zu erkennen. An einer zweiten Stelle sagt er, daß man mit beiden Augen zwei hintereinander liegende Körper in bestimmten Fällen einzeln unterscheiden kann. Wenn man aber das eine oder

[1]) M.-H, fol. 49 r: „le cose vicine allochio pare rano di magiore obbietto chelle dis stanti“ (ohne Figur).

„Die dem Auge naheliegenden Gegenstände werden größer erscheinen als die entfernten.“

das andere Auge schließt, so wird jedesmal der hinten befindliche Gegenstand nicht erkannt.

Aus dem an dieser Stelle angeführten Beispiel geht nun hervor, daß Leonardo beide Gegenstände betrachtet hat. Dabei ist ihm aber nicht aufgefallen, daß, wenn der Punkt oder Gegenstand n fixiert wird, von dem Gegenstand m ein Doppelbild, wenn dagegen m fixiert wird, ein Doppelbild von n wahrgenommen wird[1]). Von einer solchen Wahrnehmung ist nirgends etwas zu finden gewesen (siehe Fig. 27 u. 28).

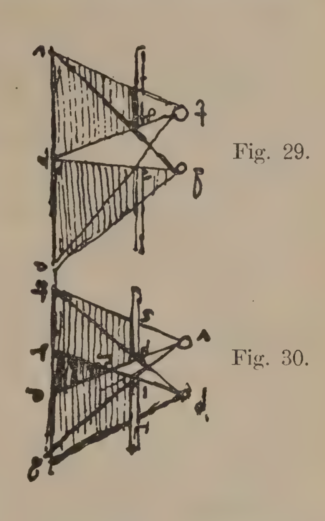


Fig. 29.

Fig. 30.

Es sei noch eine dritte bezeichnende Stelle[2]) angeführt, die vom binokularen Sehen handelt; und zwar wird hier der Versuch gemacht, durch eine Öffnung hindurch eine Wand zu betrachten und festzustellen, was man von der Wand sehen kann, einmal mit beiden Augen, das anderemal mit je einem Auge. (Die Figuren 29 u. 30 veranschaulichen den Versuch.)

---

[1]) M.—Ash$_2$, fol. 10r: „2 ochi chevegano luna chosa dopolaltra chome. a. b. che vede n. m. m. nonpo. ochupare. interamente. n. perche la basa delle linie visuali essilarga. chevede ilchorpo sechondo dopo. ilprimo Mase chiv di. vnochio chome. s. ilcorpo f. ochupera. r. perche lalinia visuale nascie nvn sono punto effa basa ne primo chorp onde ilsechonda dipari grandeza mai fia visto“ (Fig. 27 und 28).

„Zwei Augen, die einen Gegenstand hinter einem anderen sehen, wie a und b, die sehen m und n. m kann [den Raum] von n nicht völlig einnehmen, weil die Basis der Sehlinien so breit ist, daß der zweite Körper hinter dem ersten gesehen wird. Aber wenn du ein Auge schließest, wie bei s, wird der Körper f den Körper r bedecken, weil die Sehlinie von einem einzelnen Punkte ausgeht und ihre Basis in dem ersten Körper liegt, so daß der zweite, der von derselben Größe ist, niemals gesehen werden kann.“

[2]) M.—D, fol. 9r: „Qual parte del canpo vedan lochio chello riguardan per alcuno spiraculo.

sian li due ochi che perlo spirachulo d e rissghuardano il canpo a c dicho che essi due occhi non vedranno ditalcanpo altro che losspatio. b. e. ilrimanente dello spatio desstro a b saraveduto dallochio sinistro. g. ellaltro

Leonardo zieht in dieser Betrachtung den Schluß, daß man, wenn beide Augen gleichzeitig durch die Öffnung d e sehen, nur den geringen Raum bei b erkennen kann (vergl. Fig. 29). Will man aber die Teile b a oder b c sehen, so ist dies einmal nur dem linken Auge g möglich, wenn man das rechte Auge f schließt, und das anderemal dem rechten Auge f möglich, wenn man das linke Auge g schließt (vergl. Fig. 30. Hier sind aber andere Buchstaben genommen, was zu beachten ist).

Das gleiche ist auch einmal im Codex Atlanticus[1]) zu finden.

IX. Das stereoskopische Sehen.

Auf der Betrachtung eines Körpers mit beiden Augen beruht auch das körperliche oder stereoskopische Sehen. Die beiden Augen nehmen bei der verschiedenen Lage, die sie im Kopfe inne haben, verschiedene perspektivische Bilder desselben Objektes wahr, die gegeneinander verschoben erscheinen. Die Bilder sind auf den beiden Netzhäuten nicht kongruent. Daher gewinnen wir die Vorstellung von der Ausdehnung des betreffenden Körpers in der Tiefenrichtung[2]).

Daß Leonardo diese Wirkung des stereoskopischen Sehens erkannt hat, zeigt uns eine prägnante Stelle[3]), an der er sagt,

---

rimanente dellaltro spatio sinistro b c sara sol ueduto dallochio desstro. f." (Figur 29 u. 30).

„Welchen Teil der Fläche sehen die Augen, die sie durch irgendeine Öffnung betrachten.

Es seien die beiden Augen [hier fehlt „f. g." D. Verf.], die durch die Öffnung d e die Fläche a c betrachten; ich sage, daß diese beiden Augen von dieser Fläche nichts anderes sehen als den Raum b. Der übrige Teil des rechten Raumes a b wird durch das linke Auge g, und der andere übrige Teil des linken Raumes b c wird allein durch das rechte Auge f gesehen werden."

[1]) C.-A., fol. 347r—a.

[2]) Vergl. Jochmann, Grundriß der Experimentalphysik, Berlin, 1885, S. 184.

[3]) M.—D, fol. 4r: „selliochi insieme vedano uno obietto spericho di diamitro miminore chello spatio interpossto infralle popille delli ochi vedederanno esso sperico dila daldiamitro ettanto piu quanto esso sara piu vicino aessi. ochi e per consequenza tale spericho parra minore chenonne alle linie centrali della virtu visiua delli ochi" (Figur 31).

daß man mit beiden Augen mehr von einer Kugel sieht als mit nur einem (Fig. 31). Jedes Auge sieht allein eine runde Scheibe, beide zusammen aber sehen eine Kugel nicht als eine Scheibe, sondern als einen flachen Ring. Wird der Gegenstand den Augen näher gebracht, so wird dieser Ring größer, d. h. tiefer. Daß dies nur in bestimmten Fällen möglich ist, sagt er zu Anfang dieser Stelle, daß nämlich die Kugel nicht eine bestimmte Größe überschreiten darf. Natürlich nimmt er auch eine bestimmte Entfernung der Kugel von den Augen an.

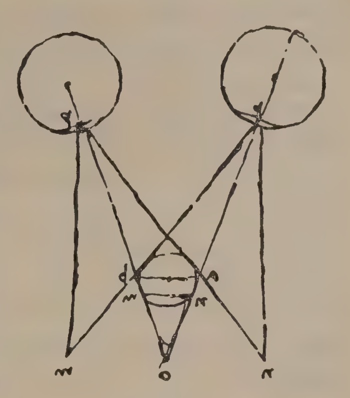


Fig. 31.

Aus dem letzten Satze dieses Ausspruches soll wohl entnommen werden, daß ein solcher Körper scheinbar kleiner ist, wenn die Sehachsen der beiden Augen fast geradeaus gerichtet sind.

Eine andere Stelle[1]) zeigt ebenfalls deutlich die Erkenntnis Leonardos, daß die beiden Augen in gemeinsamer Tätigkeit einen Körper in größerem „Relief" sehen, wie sich Leonardo selbst ausdrückt, als wenn nur je ein Auge benutzt wird.

Leider kann nicht festgestellt werden, was für Körper er

„Wenn die Augen zusammen einen kugelförmigen Gegenstand sehen, dessen Durchmesser kleiner ist als der Raum, der zwischen den Pupillen der Augen liegt, sehen sie diesen Gegenstand über den Durchmesser hinaus und um soviel mehr, als er den Augen näher ist; daher wird dieser kugelförmige Gegenstand kleiner erscheinen den Mittellinien der Sehkraft der Augen, als er ist."

[1]) M.-H, fol. 49 r: „lachosa veduta chonduochi pariranno pivretonde chequelle chen chon ochi vedute fieno.

lechose vedute infrallume elonbra pariranno di magior rele vo. —" (ohne Figur).

„Die mit beiden Augen gesehenen Körper werden runder erscheinen als die, die mit einem Auge gesehen werden.

Die zwischen Licht und Schatten gesehenen Gegenstände werden erhabener [von größerem Relief] erscheinen."

meint, die runder erscheinen werden. Ausgeschlossen sind kugelförmige Körper, die nämlich nach mehreren anderen Stellen nicht völlig rund aussehen, sobald man sie mit beiden Augen betrachtet [1]) (siehe Fig. 32).

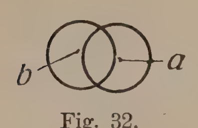


Fig. 32.

Daß Leonardo auf Grund dieser Betrachtungen zu einer weiteren Erkenntnis gelangt, nämlich daß man die mit beiden Augen betrachteten Gegenstände deutlicher erkennt, zeigt eine weitere Stelle [2]).

(Über das binokulare und stereoskopische Sehen sind gerade im Codex Atlanticus noch eine ganze Anzahl von Stellen vorhanden, aus denen aber nur die im vorstehenden ausgeführten Gedanken zu entnehmen sind. Diese Stellen sind folgende: fol. 120v—d, 125r u. v, 175r—a, 204r—b [3]) und v—b, 216r—a, 250v—a, 270r—b, 347v—a und 360r—c.)

---

[1]) Z. B. C.-A., fol. 175r—a: „Nessuno corpo opaco di sperica figura, il quale da 2 occhi veduto fia, aparirà [a] quelli di perfetta retondità" (ohne Figur).

„Kein undurchsichtiger Körper von kugelförmiger Gestalt, der von zwei Augen gesehen wird, wird diesen von vollendeter Rundung erscheinen."

Und:

M.—I, fol. 43r: „Nessuno corpo oppacho dispericha figura che da. 2. ochi veduto. sia sidimosterra mai di perfecta retondita - a. fia. ilsito deltuo ochio destro b fia ilsito del sinistro. essettu chivdi lochio destro tu uedrai iltuo chorpo spericho intorno al cientro. b. esse chiuderai lochio sinistro allora il det to chorpo cinr chundera ilcientro. b. —" (Figur 32).

„Kein undurchsichtiger Körper von kugelförmiger Gestalt, der von zwei Augen gesehen wird, wird sich jemals von vollendeter Rundung zeigen, a ist die Stellung deines rechten Auges, b ist die Stellung des linken. Wenn du das rechte Auge schließest, wirst du deinen kugelförmigen Körper um das Zentrum b sehen, und wenn du das linke Auge schließest, dann wird der genannte Körper das Zentrum b umgeben." [Hier liegt wohl ein Schreibfehler Leonardos vor, denn es muß statt des letzten „b" „a" heißen. D. Verf.]

[2]) C.-A., fol. 347r—a: „Quando i 2 occhi conduranno la piramide visuale sopra l' obbietto fia dalli occhi veduto e bene conpresso" (ohne Figur).

„Wenn beide Augen die Sehpyramide auf einen Gegenstand richten, wird jener Gegenstand durch die Augen klar gesehen und umfaßt."

[3]) Diese Stelle gibt eine weitere Ansicht über das binokulare Sehen, die Leonardo wahrscheinlich von Tideus übernommen hat. Hierüber wird der Verfasser noch eingehend berichten. Der italienische Text lautet:

Wollen wir nun bei den Einzelheiten des vorliegenden Abschnittes wieder Vergleiche anstellen, was Leonardo von seinen Vorgängern übernommen, und was er auf diesem Gebiete selbst geschaffen hat, so sehen wir, daß wir nicht überall sichere Schlüsse ziehen können. Denn wenn wir auch annehmen müssen, daß Leonardo hier ebenfalls ohne jegliche Namensnennung dieses und jenes einfach kopiert hat, so muß doch zugegeben werden, daß es nicht überall besonders gut gelungen ist, vollständig gleiche Figuren oder dementsprechende Texte, wie sie Leonardo gegeben hat, bei den Alten oder bei seinen Vorgängern zu finden.

Die Fortpflanzung des Lichtes, soweit sie auch auf diesem Gebiete in Betracht kommt, hat Leonardo nach Elsässers Feststellungen[1]) von Aristoteles übernommen und mit einigen

„Del vedere de l' occhio.

Vogliono questi nostri matematici che la balla de l' occhio sia divisa in quarto, come disopra appare in K i e f, e che il quarto, cioè b e f, sia pieno d' omore cristallino, il quale riferisca ne l' angolo b ciò che appare ne 'l triangolo b c d; e io dico che la sperienza dice che se tu apogierai le reni in mezzo a una facia d' una sala, e guarderai con fermi occhio a riscontro a l' altro mezzo, che ne le 3 facie, cioè destra, sinistra e riscontro, non sarà alcuno moto che non si vegga, come appare in g h c d, e questo è segno che l' omore cristallino sta come t S r.

La sperienza ultima, che dà la vera sentenzia che la cosa viene all' occhio e non l'occhio a la cosa, sarà questa.

Chiaro si complende come una medesima cosa, veduta da 2 occhi concordanti, essi occhi la riferiscano dentro al capo, 'n uno medesimo punto, come appare in m n o p; ma se tu con lo dito storcerai uno d' essi occhi, vederai una cosa vista si convertirà in 2. Tu che non tocchi la cosa, anzi tocchi il tuo occhio, non movi la cosa vista, anzi movi la similitudine di quella ch' è nel tuo occhio. E se l' occhio mandassi fori di sè la potenzia visuale, non potrebbe mai accadere che, movendo l' occhio, cagione di molte linie radiose, che paressi che si movessi la cosa, imperò che quando io legessi, le lettere viste parirebbono mutassino loco, secondo che tu mutassi la vista.

Se metterai 2 o 3 lumi 'n una sala e guarderai ne li occhi a quelli che seguardano essi lumi, vederai la loro propia similitudine impressa in detti occhi, e se fieno 3 lumi, ciascuno omo n'arà impressi in 2 occhi 6, e referiti a 'l comune senso rimangano 3.

Come fanno due mani, che ciascuna tenga una medesima spada, che ciascuna mano per sè tiene una spada, cosi . . ."

[1]) Elsässer, Die Bedeutung L. d. V.'s für die exakten Wissenschaften, Preußische Jahrbücher, 1899, S. 290.

Änderungen sich zu eigen gemacht. Ferner ist hier Euklids Einfluß unverkennbar, da dieser ja auch über das stereoskopische Sehen geschrieben hat, so unter anderem: „Wenn der Zwischenraum zwischen den Augen größer ist als der Durchmesser der Kugel, so wird der Teil der Kugel, der begrenzt wird, als größere Halbkugel gesehen werden.“ Im darauf folgenden Kapitel bespricht Euklid[1]) den umgekehrten Fall.

Auch Ibn al Haitams Einfluß ist hier zu bemerken, wie Elsässer meint[2]). Denn im Opticae thesaurus[3]) findet man einige Figuren und Besprechungen über die gleiche Materie. Besonders fällt eine Figur auf S. 78 dieses Werkes auf, durch die das Erkennen einer Zone, die schmaler wird, wenn sie sich von den Augen entfernt, zur Darstellung gekommen ist. Diese Figur findet sich auch bei Leonardo, wenngleich kein Text gegeben ist. Dieselben Figuren und Aussprüche sehen wir auch bei Vitello[4]).

Von den Gelehrten seiner Zeit dürfte hier wohl Alberti als Vorläufer (1404—1472) zu nennen sein, dessen „Ludi matematici“ Leonardo an verschiedenen Stellen ausdrücklich erwähnt[5]). Es ist bekannt, daß Alberti sich viel mit Perspektive beschäftigt hat, und sehr oft ist zu erkennen, daß Leonardo auch Albertis Ansichten und Erkenntnisse zu eigenen gemacht hat.

Janitschek weist sogar auf eine Reihe von Stellen hin aus Leonardos Traktat über die Malerei, „die geradezu den Eindruck von Exzerpten aus Alberti machen“[6]).

X. Optische Täuschungen und Nachbilder.

Für die optischen Täuschungen und Nachbilder gibt Leonardo recht anschauliche Beispiele, aus denen hervorgeht, daß er richtige Beobachtungen angestellt hat. Wenn er auch, wie

---

[1]) Vergl. Gregorii, Euklids Werke, Oxford, 1703, S. 620.

[2]) Elsässer, l. c., S. 290.

[3]) Opticae thesaurus Alhazeni von Risner, Basel, 1572, S. 76 ff., besonders prop. 5 ff.

[4]) Vitellonis opticae libri, dasselbe Buch, S. 106 ff.

[5]) M.—F, fol. 82r („..batista..“) und M.—G, fol. 54r („..batissta alberti..“); vergl. hierzu Solmi, L. d. V., Berlin, 1908, S. 274.

[6]) Vergl. Janitschek, L. B. Albertis kleinere kunsttheor. Schriften, Wien, 1877, S. XXX.

wir im Schlusse dieses Kapitels sehen werden, von seinen Vorgängern[1]) direkte Anregungen zu Betrachtungen über Täuschungen des Auges erhalten hat, und wenn er auch genau dieselben Beispiele nimmt wie jene, so ist doch hier festzustellen, daß er die einzelnen Beispiele nicht nur gibt, sondern in verschiedenen Fällen in der jetzt üblichen Weise zu begründen versucht. Solange wir nicht Quellen finden, in denen diese Begründungen ebenfalls vorhanden sind, müssen wir sie Leonardo zuschreiben, d. h. also, müssen wir sagen, daß Leonardo über die ihm gegebenen Anregungen auch nachgedacht und nach Gründen für die einzelnen Erscheinungen gesucht hat.

Leonardo gibt an einer Stelle[2]) an, daß man einen leuchtenden Körper für größer hält, als er in Wirklichkeit ist, wenn man z. B. aus dem Dunkeln herauskommt und diesen Körper plötzlich erblickt. Würde man ihn längere Zeit betrachten, so würde man seine wahre Größe erkennen.

Die im letzten Satze dieser Stelle ausgesprochene Ansicht, daß ein leuchtender Körper größer und leuchtender erscheinen wird, wenn man ihn mit zwei Augen sieht, als wenn man ihn mit nur einem Auge betrachten würde, ist nicht recht verständlich. Eine Begründung dieser Ansicht fehlt leider.

An einer weiteren Stelle[3]) gibt Leonardo die Beobach-

---

[1]) Vergl. z. B. Roger Baco, Op. mai. II. 24, in dem Buche von Bridges, und Vogl, l. c., S. 53.

[2]) M.—H, fol. 91 v: „Qvellochio. chevssciendo delle tenebr vedera subito vnchorpo luminoso lipara assai magiore nelprimo is guardo. chenelperseuerare iluederlo

Illuminoso. chorpo. parra. magiore epiv. luminoso. chondue. occhi. che chonunsolo —“ (ohne Figur).

„Dem Auge, das, wenn es aus dem Dunkeln kommt, plötzlich einen leuchtenden Körper sieht, wird dieser beim ersten Anblick größer erscheinen, als wenn es ihn fortgesetzt beobachtet

Der leuchtende Körper wird größer und leuchtender erscheinen, mit zwei Augen [gesehen] als mit einem.“

[3]) M.—K, fol. 120 r: „Sello chio che rissguarda lasstel la sivolta conpresteza inchontra ria parte li parra checquella stel la siconpongha n. nvna linia curua infochata —

a b c sia laluce dellochio cherissguarda lasstella d dicho chessella luce move con presteza laparte a in c chel b nel uenire nellocho a sinpreme ra

tung wieder, daß, wenn man einen Stern betrachtet und sich schnell dreht, dieser Stern eine leuchtende Bahn zu beschreiben scheint (siehe Fig. 33).

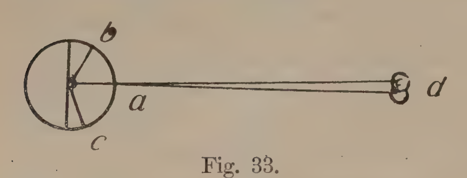


Fig. 33.

Leonardo setzt dann auseinander, worauf diese Täuschung beruht, daß nämlich ein Lichteindruck auf das Auge (also auf die „Retina") stets eine bestimmte Dauer hat und bei der schnellen Bewegung eine Reihe von Eindrücken nebeneinander erzielt werden, die als eine leuchtende Linie wahrgenommen werden.

Dann gibt er ein weiteres Beispiel einer optischen Täuschung[1]), das auch jetzt noch im Physikunterricht vorgeführt

---

nvna linia continovata delcolor della stella ecquessto achade perche loc chio riserua peral quanto spatio la similitudine della s cosa chessplen de e eperche tale inpressione dello spen dor [splendore] della stella epiv permanente nella pupilla che non fu iltenpo delsuo moto che talle inpressione dura insieme col mo to intutti isiti che passanariscontro dellastella —" (Figur 33).

„Wenn das Auge, das den Stern betrachtet, sich mit Geschwindigkeit in entgegengesetzter Richtung dreht, wird es ihm scheinen, als ob dieser Stern sich aus einer gekrümmten feurigen Linie zusammensetzt.

Es sei a b c die Iris [luce] des Auges, das den Stern d betrachtet; ich sage, daß, wenn die Iris mit Geschwindigkeit den Teil a nach c bewegt, b, indem es an die Stelle a kommt, in r a Eindruck einer fortgesetzten Linie macht von der Farbe des Sternes. Und dies findet statt, weil das Auge während einiger Zeit das Bild der glänzenden Sache bewahrt, und weil dieser Eindruck des Glanzes des Sternes länger anhält in der Iris, als es die Zeit seiner Bewegung war, daß dieser Eindruck zugleich mit der Bewegung in allen Stellungen, die vor dem Sterne vorbeigehen, andauert."

[1]) M.—K, fol. 119 v: „perchestando lochio fermo emenan do vno stizo difocho incirchulo o ver disotto allo chio in sua para esso stizo essere vna linia info cha chessi leui di basso inalto e esso stizo non ne senone invn locho peruolta in-essa linia Ecosi stante esso stizo fer mo emvendo lochio dalto inbas so parra aesso ochio chettalesti zo monti incontinvatalinia di ba sso inalto —" (ohne Figur).

„Da [besser: denn], wenn das Auge feststeht und man eine feurige Fackel im Kreise schwingt oder von unten nach oben am Auge [vorbei] [besser: auf das Auge zu], diese Fackel als eine Feuerlinie erscheint, die sich von unten nach oben erhebt, [so erscheint diese Fakel als eine zusammenhängende Feuerlinie und] ist diese Fackel in einem Zeitmoment nur in einem einzigen Punkte auf der Linie. Und ebenso, wenn diese Fackel feststeht und

wird, um zu beweisen, daß das Auge schnell aufeinander folgende Eindrücke miteinander verbindet. Wenn man nämlich ein Licht schnell im Kreise bewegt, so sieht man einen zusammenhängenden leuchtenden Kreis. Das gleiche findet statt, wenn man ein Licht (bei Leonardo „eine Fackel") in einer geraden Linie schnell bewegt.

Die Begründung dieser Erscheinung versucht er an einer anderen Stelle[1]) zu geben, indem er sagt, daß der Eindruck, den die Fackel an den verschiedenen Stellen der Bewegung macht, schneller ist als die Beurteilungskraft, d. h. ehe ein jeder Punkt, an dem sich die Fackel befand, zum Bewußtsein als einzelner Punkt gekommen ist.

Dann müssen wir noch eine weitere Stelle[2]) in Betracht ziehen, die eigentlich keine optische Täuschung, sondern eher als eine durch unser Auge bedingte Erscheinung anzusprechen ist.

Wir wissen, daß man zwei Lichtpunkte in einer größeren Entfernung noch getrennt wahrnehmen kann, wenn sie einen der Entfernung entsprechenden Abstand voneinander haben. Dieser beträgt unter den günstigsten Verhältnissen eine Bogenminute[3]). Und eine solche Erscheinung gibt uns hier Leonardo.

Alsdann seien noch andere Erscheinungen kurz erwähnt,

---

sich das Auge von oben nach unten bewegt, wird es diesem Auge scheinen, daß diese Fackel in ununterbrochener Linie von unten nach oben steigt."

[1]) M.—A, fol. 26 v: „Essimil. mente. semoverai vno stizzo accieso. imovimento. circhulare. paratti tutta sua via vncirchulo. infochato. Ecquesto. e chelle. piv. presto lanprensiua. chelgivditio . . ." (ohne Figur).

„Und ebenso, wenn du eine entzündete Fackel kreisförmig bewegst, wird dir ihre ganze Bahn als ein Feuerkreis erscheinen. Dies kommt daher, weil der Eindruck [imprensiva] schneller ist als die Überlegung."

[2]) M.—A, fol. 64 v: „seporai. 2. chandela. acciese apresso. luna. allaltra $^1/_2$ braccio. ealontanerati. daesse 200. braccia vederai per lacressimento. diciasscuno. farsi. uno. solo. chorpo. lumminoso. dedue. lumj. eparra. uno. solo lume. grande. uno. braccio" (ohne Figur).

„Wenn du zwei angezündete Kerzen eine nahe der anderen, $^1/_2$ Elle entfernt, stellst, und wenn du dich 200 Ellen von ihnen entfernst, wirst du sehen, wie durch das Anwachsen einer jeden ein einziger leuchtender Körper aus den beiden Lichtern wird, und es wird nur ein einziges großes Licht von einer Elle erscheinen."

[3]) Vergl. Jochmann, Grundriß d. Physik, Berlin, 1885, S. 181.

die auch darauf beruhen, daß unser Auge stets eine bestimmte Zeit braucht, um aufeinander folgende Eindrücke getrennt wahrzunehmen. Es entstehen bei schnellen Bewegungen die sogenannten Nachbilder im Auge.

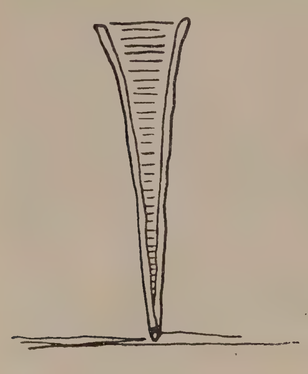


Fig. 34.

Wenn man z. B. einen elastischen Stab an einem Ende befestigt oder festhält, das andere Ende aus seiner normalen Lage herausbewegt und dies darauf losläßt, so schwingt der Stab hin und her, so daß man ihn nicht erkennen kann, sondern eine Fläche sieht, deren Grenzen besonders deutlich erscheinen, da hier der Stab am längsten verweilt.

Diese Beobachtung hat auch Leonardo gemacht[1]) (siehe Fig. 34).

Weiterhin sei auf eine Beobachtung hingewiesen, die Leonardo an einer anderen Stelle[2]) gibt. Er sagt hier, daß wir von einem leuchtenden Gegen-

[1]) M.—C, fol. 15r: „moto duno coltello fitto sopra una tavola che paran 2
quella verga ochorda. chechonpresteza. dimenata fia. para essere duplichata" (Fig. 34).

„Bewegung eines Messers (Degens), das in einen Tisch geschlagen ist, das als zwei erscheint.

Diese Rute oder Sehne, die mit Schnelligkeit zurückbewegt wird, scheint verdoppelt zu sein."

[2]) M.—C, fol. 7v: „Lochio. piv. teniera. e piu. riserbera. inse. lesimilitudine delle cose luminose. chelonbrose. La ragion sie. chellochio inse essomma osschurita. eperche ilsimile infral simile non diuide adunque la notte o altre chose osschure po sono essere riser uate. ochonossciute dal lochio ilume e intera. mente chontrario. epivdivide epidetrimento evarieta allalaconsueta scurita dellochio. onde dise lasscia. in. pressa lasua similitudine —" (ohne Figur).

„Das Auge wird das Bild von leuchtenden Gegenständen mehr zurückbehalten und besser aufbewahren als das von dunkeln. Der Grund davon liegt darin, daß das Auge an sich von außerordentlicher Dunkelheit ist, und weil das Ähnliche unter dem Ähnlichen nicht scheidet, können durch das Auge die Nacht oder andere dunkle Gegenstände [nicht] zurückgehalten oder erkannt werden. Das Licht ist ganz das Gegenteil und teilt mehr [. . . ?] gegenüber der gewohnten Dunkelheit des Auges, und so läßt es von selbst sein Bild eingeprägt."

stande ein Nachbild länger behalten als von einem dunkeln. Seine Begründung ist für uns etwas unverständlich.

Diese Nachbildbeobachtung dürfte aber wohl etwas anderes sein, als Leonardo angibt. Er scheint das Wesen der Sache nicht erkannt zu haben. Denn bekanntlich hinterläßt ein plötzlich auftretendes Licht, besonders aber ein grelles Licht für eine kurze Zeit ein Nachbild, wenn man die Augen schließt. Außerdem entstehen Nachbilder, wenn man eine Sache von greller Farbe sehr lange betrachtet und das Auge ermüdet. Aber Gegenstände gewöhnlicher Art, seien sie mehr oder weniger hell, hinterlassen keine so deutlichen Nachbilder. Leonardo scheint diese Sache nicht verstanden zu haben.

XI. Irradiation.

Die Erscheinungen der Irradiation sind bei Leonardo zahlreich zu finden. Auch hier gibt er Beispiele verschiedener Art, indem er sowohl dunkle Körper auf hellen Flächen, wie helle Körper auf dunklen Flächen beobachtet. Von diesen zahlreichen Stellen seien einige hier angeführt[1, 2, 3]). Er sagt z. B., daß ein Körper kleiner erscheint als gleich große und gleich entfernte andere, wenn man ersteren auf hellerem Hintergrunde sieht. Umgekehrt erscheint er größer, wenn er einen dunkleren Hintergrund hat als die anderen. Außerdem erscheinen heller

---

[1]) M.-C, fol. 24r: „Infra icorpi. dipari. qualita. Chessien dallocchio. equal mente. distanti Quello. apparira. diminor figura chedappiv. lumi noso. canpo. circhundato fia.“ (Ohne Figur.)

„Unter Körpern gleicher Art, die gleichweit vom Auge entfernt sind, wird der von kleinerer Gestalt erscheinen, der von einem stärker erleuchteten Felde umgeben ist.“

[2]) C.-A., fol. 126 v—b: „Infra i corpi luminosi d' equal grandezza, distanzia e splendore, quello si dimosterrà di maggiore forma, il quale da più oscuro campo circundato fia.“ (Ohne Figur).

„Von den leuchtenden Körpern gleicher Größe, Entfernung und Glanz wird der die größere Gestalt zeigen, der von dunklerem Hintergrunde umgeben ist.“

[3]) M.-C, fol. 1 r: „Infra ichorpi dequal grandeza. edistantia. Quello. cheffia. piv. alluminato. para. allochio. piv. propinquo emagiore.“ (Ohne Figur.)

„Von Körpern, die in Größe und Entfernung gleich sind, erscheint der, der stärker beleuchtet ist, dem Auge näher und größer.“

erleuchtete Körper, die in gleicher Entfernung stehen wie weniger beleuchtete, und die diesen an Größe gleich sind, größer als die weniger erleuchteten.

Eine eigenartige Beobachtung von Irradiation ist die unten mitgeteilte, die hier im Texte[1]) beigefügt ist, und zwar sei auch eine hier befindliche Anmerkung von Ravaisson-Mollien wiedergegeben: „Diese dunkle Behauptung könnte sich vielleicht wie folgt fassen lassen: Wenn die Sonne durch ein Fenster

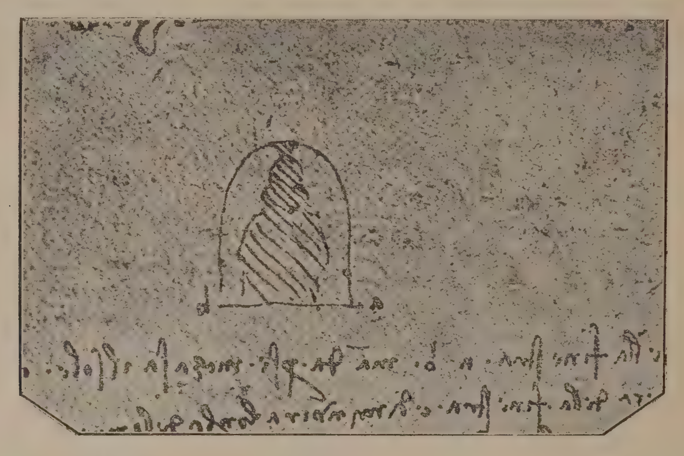


Fig. 34a.

in ein Haus eindringt, wird das Licht sich ausbreitend verlaufen, indem es von dieser Öffnung ausgeht. Und wenn sich nun vor dem Fenster ein Gegenstand innerhalb des Hauses befindet, so wird Licht bei seiner Ausbreitung nach allen Seiten den Schatten dieses Gegenstandes vermindern. Dies ist das sogenannte Phänomen der Irradiation, worauf Leonardo wiederholt kommt[2]).“ (Fig. 34a.)

[1]) M.-A, fol. 1r: „Pella finestra. a. b. manda. perse. inchasa ilsole cresciera desto sole lagrandeza della. finestra. e diminvira lonbra dellomo. imodo. checquando detto omo achostera. quela onbra. disepersa. acquella che portalauera grandeza della finestra vedera insulchontatto dellonbre. perse econfuse dalla potentia della luce civdere e non lasciare passare irazi solari effara lonbra fatta dallomo suldetto contatto loeffetto che quidi sopra. effiguratoa punto.“ (Fig. 34a).

[2]) Gemeint sind die Stellen z. B. S. 223, 228, 231, 232 der Manzischen Ausgabe des Trattato della Pittura.

Wie stets zieht Leonardo auch hierbei praktische Beispiele des Lebens heran, und zwar die allgemein bekannte Sache, daß ein überall gleich dicker Eisenstab mit seinem glühenden Teile größer erscheint als der nichtglühende Teil[1]). Das Gleiche tritt auf, wenn man z. B. eine gerade Säule nur zum Teil hell erleuchtet[2]).

Wenn nun auch Leonardo das Wesen der Irradiation an sich richtig erkannt hat, so ist nicht begreiflich, daß er an einer anderen Stelle zu einem vollständig falschen Schlusse bei der Beobachtung dieser Erscheinungen gelangt. Es heißt nämlich an dieser Stelle, daß ein zwischen das Auge und einen weißen Gegenstand gebrachter Körper um die „Hälfte" kleiner erscheine[3]).

Hieraus ist also deutlich zu entnehmen, daß nach seiner Ansicht ein Körper, der gegen einen weißen Gegenstand betrachtet wird, um die Hälfte kleiner erscheinen soll. Ein Schluß der zu weitgeht.

Weitere Stellen, an denen sich Leonardo mit der Irradiation beschäftigt, sind: M.-C, fol. 3r und 8v; M.-E, fol. 32r und v; M.-F, fol. 22r; M.-I, fol. 18r; M.-Ash$_1$, 3r.

Es sei hier noch bemerkt, daß Séailles[4]) außerdem weitere Stellen anführt, die die Irradiation erkennen lassen sollen. Er sagt u. a., daß das Flimmern der Sterne eine Irradiationserscheinung ist.

---

[1]) M.-C, fol. 12r: „Ilfero dequal grosseza. mezo infochato nefa. proua inpero che essa. parte. infochata. pare piu. grossa chelresto." (Ohne Figur.)

„Ein Stück Eisen von gleichmäßiger Dicke, das zur Hälfte glüht, gibt hiervon den Beweis, denn der glühende Teil erscheint dicker als der übrige Teil."

[2]) M.-C, fol. 24r: „Quelchorpo dequale retondita chedallume e onbra circhundatofia para avere tanto piv grande luna parte chellaltra quanto fia piv aluminata luna chellaltra." (Ohne Figur.)

„Der Körper, der von gleichmäßiger Rundung ist, und der von Licht und Schatten umgeben sein wird, wird scheinen, als ob einer seiner Teile größer ist als der andere, in dem Maße, wie der eine mehr beleuchtet sein wird als der andere."

[3]) C.-A., fol. 320v—b: „Uno obbietto opposto tra l' occhio e uno obbietto candido diminuisce la metà di sua grandezza." (Ohne Figur.)

„Ein zwischen das Auge und einen weißen Gegenstand gebrachter Körper verkleinert um die Hälfte seiner Größe."

[4]) Séailles, L. d. V., l'artiste etc., Paris, 1892, S. 257.

Was Leonardo über die Irradiation von seinen Vorgängern entlehnt, und was er an eigenen Gedanken entwickelt hat, läßt sich nicht feststellen, da bei den Alten und bei seinen unmittelbareren Vorgängern nirgends von diesen Erscheinungen die Rede ist. Zwar wissen wir, daß Ptolemäus[1]) und Ibn al Haitam[2]) von zahlreichen Beobachtungen aus dem Gebiet der physiologischen Optik, den optischen Täuschungen, sprechen, ohne daß aber eine derselben als Irradiation angesprochen werden kann. Auch aus Roger Bacos Werken führt Vogl[3]) hiervon nichts an.

3. Kapitel.

Geradlinige Fortpflanzung des Lichtes.

In diesem Kapitel werden wir die Angaben Leonardos über die geradlinige Fortpflanzung des Lichtes behandeln. Die Konsequenzen dieser Lehre für die Perspektive sollen nur insoweit gestreift werden, als sie zur Darstellung der physikalischen Lehren dienen, nicht aber zur Anwendung auf dem Gebiete der bildenden Künste. Vor allen Dingen werden die Fragen nicht behandelt, bei denen zu dem physikalischen Element auch das physiologisch ästhetische hinzutritt[4]); dies ist um so weniger an dieser Stelle nötig, als es, zum Teil wenigstens, bereits von anderer Seite geschehen ist.

Es ist ja leicht erklärlich, daß Leonardo sich häufig mit der geradlinigen Fortpflanzung beschäftigt hat.

Die Ausbreitung des Lichtes geschieht nach ihm nach allen Seiten auf Geraden[5]). Dabei äußert er sich gelegentlich

---

[1]) Vergl. Wiedemann: Über das Experiment im Altertum und Mittelalter, Separatabdruck, 1906, S. 6, und ferner: Govi, L'Ottica di Claudio Tolomeo, Turin, 1885, sowie: Ptol. Opt. Sermo II.

[2]) Vergl. Alhazen, Opticae thesaur. III, prop. 19ff.

[3]) Vergl. Vogl, Roger Baco, 1906.

[4]) Hierzu sind wohl speziell der Trattato della pittura di L. d. V.; Nuovamente dato in luce con la vita dell' istesso autore scritta da Rafaelle du Fresne, Bologna, 1876, und derselbe Trattato, Codex Vaticanus (Urbinas), übersetzt von H. Ludwig, Wien, 1882, zu vergleichen.

[5]) M.-A, fol. 8v: „Io dimando chemisia choncieduto lo. affermare. che ciasscuno razo passando. peraria chessia. dequale. soctilita scorino perretta linia dala loro. chagione. allobbiecto opercussione.“ (Ohne Figur.)

dahin, daß das Licht eine kreisförmige Bewegung ist, und führt als Vergleich an, daß eine solche Bewegung in Kreisen entsteht, wenn man einen Stein ins Wasser wirft[1]).

Daß auch das Sehen in Geraden geschieht[2]), weiß er und spricht darüber, indem er hier einen Ausspruch des Aristoteles anführt. Dieser Ausspruch ist um so bemerkenswerter, weil es sonst nicht seine Gewohnheit ist, die Quelle seines Wissens und den Autor anzuführen. Es sei deshalb auf diese Stelle besonders hingewiesen.

Einen Beweis hierfür gibt er an einer anderen Stelle, indem er einen Gegenstand durch ein Loch in einem Kartonblatte beobachtet. (Fig. 35.)

„Ich bitte, daß ich versichern darf, daß jeder Strahl, der durch eine Luft von gleichartiger Feinheit geht, sich in einer geraden Linie von seinem Ursprung nach dem Gegenstande oder dem Aufprall bewegt.“

[1]) [Diese Stelle ist bereits bei „Art und Weise der Fortpflanzung der Spezies“ erwähnt. Sie sei aber hier der Vollständigkeit wegen noch einmal angeführt.]

M.-A, fol. 9 v: „Sichome. lapietra. gittata. nellacqua. sifa. cientro. echavsa. diuari circhuli elsono. fatto inellaria. circularmente sispargie. cosi ogni. corpo. posto. infra laria. luminosa circularmente spargie. eenpie le circhunstanti. parti. dinfinite sue. similitudine. eapare tutto pertutto. ettutto in ogni parte.“ (Ohne Figur.)

„Ebenso wie der ins Wasser geworfene Stein sich zum Zentrum und zur Ursache der verschiedenen Kreise macht, und ebenso wie der in der Luft erzeugte Ton sich kreisförmig ausbreitet, so breitet sich jeder in leuchtender Luft aufgestellte Körper kreisförmig aus, erfüllt die umgebenden Teile mit seinen zahllosen Bildern und erscheint alles in allem und alles in jedem Teile.“

[2]) M.-D, fol. 10 v: „provasi perla 3a diquessto chedice (tutte levision fatte nuna medesima qualita daria son rettelinie — adunque esendo possibile che dallochio aciasscuna parte daria vedutta daesso ochio tirare vna linia retta essa visione erettilinia eancora siprova mediante quella chedice aristotile) ogni attio naturale efatta nel piu brieve modo chee possibile ec [etc] adunque lauisio sara fatta perla linia brevissima coe linia retta.“ (Ohne Figur.)

„Es wird bewiesen durch das 3te dieses, der sagt, alles Sehen in derselben Luftart ist in Geraden. Da es möglich ist, vom Auge nach jedem Teile der Luft, der durch das Auge erblickt wird, eine Gerade zu ziehen. Das geradlinige Sehen wird noch durch jene Ansicht, die Aristoteles ausspricht, bewiesen: „Jede natürliche Tätigkeit vollzieht sich in der kurzmöglichsten Weise u. s. w. Daher das Sehen durch die kürzeste Linie vollzogen wird, das ist, durch die Gerade.“

Deutlich ist hier zu erkennen, in welcher Weise er den Beweis geben will. Ein hierzu gehöriger Text findet sich an einer anderen Stelle und besagt dasselbe wie der eben zitierte Ausspruch[1]).

(Bei der Besprechung des Auges und des Sehens sind weitere Beispiele gegeben.)

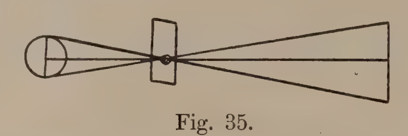


Fig. 35.

Die Ausbreitung des Lichtes beschränkt sich nun aber nicht allein auf die Luft, es müssen auch andere Medien berücksichtigt werden. Leonardo prüft daher auch den Durchgang des Lichtes durch andere Körper, wie z. B. Glas, ohne aber einen klaren Gedanken zu geben oder ein greifbares Resultat anzuführen[2]). (Fig. 36.)

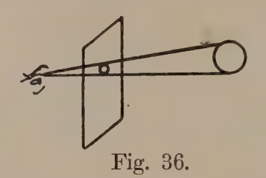


Fig. 36.

Im Gegensatz zu den durchsichtigen Körpern finden dann auch die undurchsichtigen Berücksichtigung, indem er von ihnen sagt, daß ihre Oberfläche der Farbe des Objektes teilhaftig wird[3]). Dies gehört eigentlich zur Reflexion.

---

[1]) M.-K, der Text fol. 126 v, die Figur fol. 127 r. (Fig. 35.)

[2]) M.-A, fol. 1 v: „prospettiva. none altro. chevedere uno sito dirieto a uno vetro piano epen transsparente sula superfitie del quale. sia. segniato. tutte lechose. che sono da esso. vetro. indirieto. le quali si posano. chon dure pirapiramide alpunto dellochio eesse piramide si tagliano sudetto vetro.“ (Fig. 36.)

„Die Perspektive ist keine andere Sache, als einen Gegenstand, der hinter einer ebenen und gut transparenten Glasscheibe sich befindet, zu sehen, auf deren Oberfläche sich alle Sachen, die hinter dieser Glasscheibe sind, zeigen, diese Sachen begeben sich in stereoskopischen Pyramiden zum Augenpunkte, und diese Pyramiden schneiden sich auf der Glasplatte.“

[3]) M.-E, fol. 32 v: „La superfitie dongni oppacho participa delcholore delsuo obbieto.“ (Ohne Figur.)

„Die Oberfläche eines jeden undurchsichtigen [sc. Körpers] nimmt an der Farbe seines Objektes teil.“

Betrachten wir hier seine Darstellungen und Aussprüche über Licht und Schatten, von denen es eine fast zahllose Menge gibt. Zum allergrößten Teile gehören sie aber in das Gebiet der Malerei, das ihm ja stets für seine Untersuchungen vorgeschwebt hat, und auf das diese Untersuchungen zugeschnitten sind. Kernschatten und Halbschatten der verschiedensten Körper und bei den verschiedensten Beleuchtungen, in allen Arten und auch in verschiedenartigsten Wiederholungen füllen einen recht beträchtlichen Teil seiner Werke. In der eingehendsten Weise untersucht er dabei alles, fast stets spricht er dann von der Anwendung in der Malerei.

Seine Ansicht über das Wesen der Schatten ist die zu jener Zeit übliche, wie sie von den Alten übernommen worden ist, daß nämlich der Schatten die Verminderung des Lichtes und die Finsternis die Entziehung des Lichtes ist[1]).

Auch über das Wesen des Lichtes spricht er und definiert es dahin, daß das Licht (das natürlich auf einem beleuchteten Körper entsteht), die Natur des auffallenden Lichtes besitzt[2]).

Ludwig kommentiert diesen Ausspruch in folgender Weise: „Das Licht (von den Körpern) ist von der Natur des (Ur-) Lichtes“[3]).

Leonardo fährt nun bei dieser Definition fort, daß der Schatten verbirgt, das Licht aber zeigt[4]), d. h. also, daß nur im Lichte etwas zu erkennen ist.

Seine Betrachtungen über den Schatten sind oft recht interessant. So spricht er z. B. davon, daß sich die Schatten schneller bewegen als die Körper, die den Schatten werfen, sobald nämlich die Lichtquelle still steht (siehe den linken

---

[1]) M.-E, fol. 32v: „Honbra ediminuition di lume — tenebre eprivation di lucie.“ (Ohne Figur.)

„Der Schatten ist die Verminderung des Lichtes. Finsternis ist Entziehung des Lichtes.“

[2]) M.—Ash$_2$, fol. 22r: „lume edinatura della luce.“ (Ohne Figur.)

„Licht [das auf einem Körper entsteht] ist von der Natur des [auffallenden] Lichtes.“

[3]) Vergl. Ludwig, L. d. V., Das Buch von der Malerei, Wien, 1882, II. Teil, S. 5.

[4]) M.—Ash$_2$, fol. 22r: „luno ciela. ellaltro dimostra.“ (Ohne Figur.)

„Der eine verbirgt und das andere zeigt.“

Teil in Figur 37). Bewegt sich aber die Lichtquelle mit derselben Geschwindigkeit wie der beleuchtete Körper, so haben beide gleiche Bewegung (siehe den rechten Teil). Läuft die Lichtquelle schneller, so ist die Bewegung des Schattens langsamer als die des beleuchtenden Körpers[1]).

Weiterhin sagt er, daß der Schatten eines Körpers von gleichmaßiger Dicke niemals dem Körper selbst ähnlich sein wird[2]), und gibt ein anschauliches Beispiel an einer Pyramide[3]).

Wir kommen nun zu den Lichtarten. Leonardo unterscheidet deren vier, die einen undurchsichtigen Körper erleuchten können. Diese sind: Diffuses Licht, wie es in der Atmosphäre innerhalb unseres Horizontes vorhanden ist. Direktes Licht, z. B. das der Sonne, oder das durch eine geöffnete Tür, ein Fenster oder sonst eine Öffnung. Das dritte ist das reflektierte Licht. Und das vierte ist das, was durch transparente durchscheinende Körper hindurchgegangen ist, z. B. Leinen, Papier oder dergl., die aber nicht durchsichtig sind wie Glas, Kristall oder andere solcher Körper, welch' letztere ja dieselbe Wirkung hervorrufen, als wenn nichts dazwischen gekommen ist[4]).

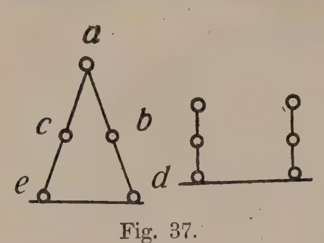


Fig. 37.

Leonardo hat die Schatten in verschiedene Arten eingeteilt. An einer sehr charakteristischen Stelle[5]) finden wir

---

[1]) M.-E, fol. 30v. (Siehe die Fig. 37.)

[2]) M.-I, fol. 37v. „La stanpa dellonbra diqualunque cor po di uni forme grosseza mai sara simile al corpo donde ella nasscie". (Ohne Figur.)

„Der Abdruck des Schattens eines beliebigen Körpers von gleichmäßiger Dicke wird niemals dem Körper ähnlich sein, aus dem er entsteht."

[3]) Siehe z. B. M.-Ash$_2$, fol. 22r. (Ohne Figur.)

[4]) M.-G, fol. 3v. (Ohne Figur.)

[5]) Ludwig, Das Buch von der Malerei, Wien, 1882, S. 19:

„Quante sono le sorti de l' ombre?

Tre sono le sorti de l' ombre, delle quali l' una nase dal lume particulare com' e sole, luna, o' fiama; la seconda e quella che deriua da porta, finestra, o' altra aprittura, donde si ueda gran' parte del cielo; la Terza e quella, che nase da lume uniuersale, com' e il lume del nostro emispero, essendo senza sole."

hierüber seine Ansicht, daß es nämlich dreierlei Schatten gibt und zwar entsteht die erste Art, wenn Licht von der Sonne, einer Lichtflamme oder dergl. auf einen Gegenstand fällt und dieser den Schatten wirft. Die zweite Art finden wir, wenn z. B. in einem Zimmer das durch eine Tür oder ein Fenster

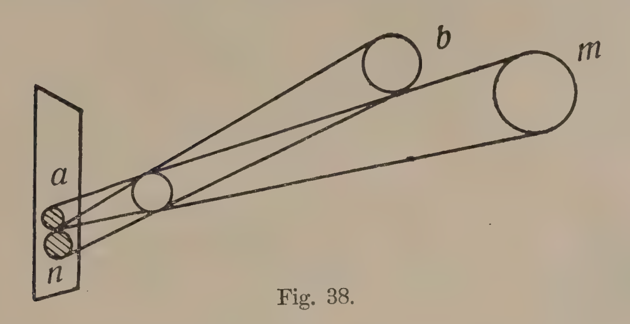


Fig. 38.

gehende Licht von einem Körper einen Schatten erzeugt. Endlich gibt es eine dritte Art, die von dem Lichte herrührt, das auf der Erde vorhanden ist, wenn z. B. während des Tages die Sonne nicht scheint.

An derselben Stelle spricht Leonardo auch von der Spezies

„Quante sono le specie de l' ombre?

Le spetie de l' ombre sono di due sorti, delle quali l' una e detta primitiua, l' altra deriuatiua.

primitiua e quellam ch' e congionta al corpo ombroso; e deriuata e quella, che deriua dalla primitiua."

„Wie viel Schattenarten gibt es?

Es gibt dreierlei Arten von Schatten. Die erste von ihnen entsteht von (besonderem) Licht, wie die Sonne, der Mond oder eine Lichtflamme sind (d. h. leuchtenden Körpern). Die zweite kommt von einer (geöffneten) Tür oder einem Fenster, oder von sonst einer Öffnung, durch die man ein großes Stück Himmel sieht. Die dritte entsteht von allgemeinem (oder universellem) Licht, wie das unserer Hemisphäre ohne Sonne ist."

„Wie vielerlei Schattenscheinbilder oder -arten (Spezies) gibt es?

Schattenscheinbilder (Spezies) gibt es von zweierlei Art. Die eine von diesen heißt der „primitive" Schatten, die andere der abgeleitete.

Primitiv ist derjenige, welcher mit dem schattenverursachenden Körper verbunden ist, abgeleitet der, welcher sich vom primitiven ableitet".

[Diese Stellen sind, was den italienischen Text betrifft, wörtlich aus dem Ludwigschen Werke entnommen. Die Übersetzung hat jedoch einige Änderungen erfahren. D. V.]

der Schatten, die in zweierlei Arten zu teilen ist, nämlich in die „primitive“ und die abgeleitete („derivative“), und gibt hier auch eine kurze Erklärung.

Ein anderesmal behandelt er wiederum in einer kurzen Bemerkung die Schatten und sagt, daß das Verhältnis der Dunkelheit der „derivativen“ Schatten dasselbe ist als das der Nähe der leuchtenden Körper[1]). (Fig. 38.)

Leider ist die betreffende Stelle (s. unten) nicht ganz verständlich, zumal man nicht recht weiß, was er mit den „leuchtenden Kreisen des Schattens“ meint. Es könnte diese Stelle auch wohl angeführt sein, um die Helligkeit zweier Schatten zu vergleichen, da die leuchtenden Körper in verschiedener Entfernung von dem beleuchteten Körper stehen.

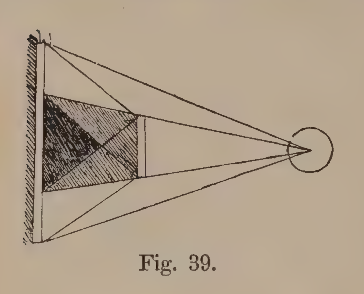


Fig. 39.

Eine für die Lehre vom Schatten wichtige Frage muß hier noch besprochen werden. Wie die dabei stehende und sehr schön ausgeführte Figur erkennen läßt, wird ein stabförmiger Körper beleuchtet[2]). (Fig. 39.)

---

[1]) M.-C, 4v: „Quella proportione troverrai di osschurita infrallonbre diriuatiue. a. n. quale fiaquella della vicinita decorpi luminosi m. b. chelle chavsano esse hessi corpi luminosi fieno dipari grandeza anchoratroverai tal proportione nelle grandeze delle perchussioni decierchi luminosi dellon bra qùale quella della distantia. dessi corpi luminosi.“ (Fig. 38.)

„Du wirst dasselbe Verhältnis der Dunkelheit zwischen den derivativen Schatten a n finden, wie es [in] der Nähe der leuchtenden Körper m b, die sie verursachen, stattfindet; und wenn diese leuchtenden Körper von gleicher Größe sind, wirst du noch dasselbe Verhältnis in den Größen der Auftreffenden der leuchtenden Kreise des Schattens finden, wie es die der Entfernung der leuchtenden Körper ist.“

[2]) M.-C, fol. 4v: „Ilchonchorso. dellonbra. nata. etterminata. infra propinque. et. piane. superfitie depari. qualita. eretta. oppositione ara. piu. scuro. fine. cheprincipio. jlquale. terminera. infralla. perchussione. deluminosi. razzi.“ (Fig. 39.)

„Der Zusammenlauf des Schattens, der zwischen benachbarten und ebenen Oberflächen entstanden und begrenzt ist, von gleicher Art und von richtiger Gegenüberstellung, wird ein dunkleres Ende haben als der Anfang, der sich in dem Aufstoß der leuchtenden Strahlen beenden wird.“

Dieser wirft auf eine Wand einen Schatten, der sich aus verschiedenartigen Teilen zusammensetzt. Der dunkelste Schatten liegt aber nach dieser Zeichnung nicht an dem betreffenden Körper selbst, sondern in dem Dreieck, das von der an der Wand befindlichen Grenzlinie des Schattens und den Diagonalen gebildet wird, die die Endpunkte dieser Grenzlinie und die des Körpers verbinden.

Die hier von Leonardo ausgesprochene Ansicht über die Helligkeiten innerhalb eines Schattens, der auf diese Weise entsteht, kann jedoch nicht ganz richtig sein.

Hier ist noch auf einen Ausspruch Leonardos hinzuweisen, der über die Grenzen des „derivativen“ Schattens handelt. Diese Grenzen werden nämlich dort besser unterschieden, wo der genannte Schatten dem Originalschatten am nächsten ist[1]).

Was nun die Helligkeit der Schatten an ihrem Ende betrifft, so finden wir einen nicht ganz klaren Ausspruch über diese Sache. Denn Leonardo behauptet mit Recht, daß die Grenzen des Schattens eines beleuchteten Körpers desto undeutlicher sind, je größer der lichtgebende Körper ist[2]).

Diesen letzten Gedanken spricht Leonardo auch an einer anderen Stelle aus, indem er sagt, daß sich die Schatten in einer langen Erstreckung verlieren, da dann wieder die leuchtende Luft in Wirksamkeit tritt[3]).

Im vorstehenden sind nur die bemerkenswertesten Aussprüche Leonardos berücksichtigt worden, denn es würde über

---

[1]) C.-A., fol. 126 r—b: „I termini di quella ombra dirivativa saranno più distinti della quale la sua percussione fia più propinqua all' ombra originale.“ (Ohne Figur.)

„Die Grenzen jenes „derivativen“ Schattens, dessen Aufstoßung dem Originalschatten näher liegt, werden deutlicher sein.“

[2]) C.-A., fol. 148 v—a: „Quanto il lume sarà maggiore del corpo ombroso, tanto li termini dell' ombra di tal corpo saran più confusi.“ (Ohne Figur.)

„Je größer ein Licht ist als der beleuchtete Körper, um so mehr werden die Grenzen des Schattens verschwommen sein.“

[3]) M.—Ash$_2$, fol. 20v: „Lonbre. siperdano illunga distantia. perche lagran quantita. dellaire luminoso chessi truova infra lochio. ella. cosa. veduta. tegne lesue onbre della cosa nel suo colore.“ (Ohne Figur.)

„Die Schatten verlieren sich in einer langen Entfernung; weil die große Menge der leuchtenden Luft, die sich zwischen dem Auge und der gesehenen Sache befindet, die Schatten des Gegenstandes in ihrer Farbe färbt.“

den Rahmen dieser Arbeit hinausgehen, würden sämtliche Einzelheiten dieses Kapitels in ausführlicher Weise behandelt werden.

Interessant ist aber hier noch ein Vergleich, den Leonardo mit zwei gleichgroßen Körpern anstellt, wenn der eine vom Auge betrachtet, der andere aber von einem kleinen leuchtenden Körper beleuchtet wird. Wie die Figur 40 erkennen läßt, sind die Abstände überall gleich. Unter diesen Umständen sind die Räume, die von dem Schatten einerseits und von den äußeren Sehstrahlen andererseits gebildet werden, die gleichen [1]).

Ein weiteres, nicht minder interessantes Kapitel muß uns jedoch noch hier beschäftigen, nämlich die Lehre von den

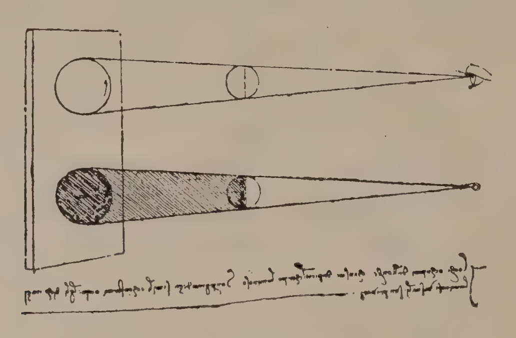


Fig. 40.

Kern- und Schlagschatten. Wenn man nämlich den Codex Atlanticus und die sogen. französischen Manuskripte durchstudiert, so findet man sehr häufig eigenartige Zeichnungen ohne besondere Erklärungen, von denen man weder in der Optik des Alhazen noch des Vitello oder bei anderen Vorgängern etwas Ähnliches findet. Dagegen geben die neuesten Veröffentlichungen über Ibn al Haiṯam und die mir gütigst

[1]) M.-C, fol. 9 r: „Jlochi. ochupati. dallonbre. chausate. dapiciol chorpo. luminoso. Sonpergrandeza. simili. echonformi acquelgli diche irazi visuali. son privati.“ (Fig. 40.)

„Die Räume, die durch die Schatten, die von einem kleinen leuchtenden Körper hervorgerufen werden, bedeckt sind, sind an Größe ähnlich und übereinstimmend mit denen, denen die Sehstrahlen entzogen sind.“

von Herrn Dr. S. Vogl zur Verfügung gestellten noch nicht herausgegebenen Arbeiten über al Kindî hierüber Aufschluß. Es handelt sich hier um die Schrift Ibn al Haiṯams: „Über die Beschaffenheit der Schatten“ (vergl. Beiträge zur Gesch. d. Naturwissenschaften der physik.-medizin. Sozietät in Erlangen, Nr. XIII, 1907) und um al Kindîs „liber de aspectibus“ (vergl. z. T. die eben genannten Beiträge).

Wie schon oben gesagt, sind diese Figuren und Ausführungen nicht im Risnerschen Alhazen, der wohl eine Ausgabe der Gerhard von Cremonaschen Übersetzung sein soll, enthalten. Daher ist wohl der Schluß zulässig, daß Leonardo noch andere Werke von Ibn al Haiṯam zur Verfügung gehabt hat.

Zahlreich sind nun zwar die Abbildungen über die Beschaffenheit der Schatten, wie bereits eben erwähnt ist, jedoch vermissen wir die dazu gehörigen Texte. An keiner Stelle ist eine derartige wissenschaftliche Behandlung zu finden, wie wir sie aber bei Ibn al Haiṯam lesen. Es ist wieder die bekannte Art Leonardos, über das Wissenschaftliche einfach hinwegzugehen, höchstens einige Fragen zu stellen oder nur die Aufgabe selbst zu geben.

Leonardos Figuren unterscheiden sich von denen Ibn al Haiṯams dadurch, daß er stets einen Kreis (also wohl die Sonne) als den beleuchtenden und einen kleineren Kreis (also wohl den Mond) als den beleuchteten Körper nimmt, während Ibn al Haiṯam dafür Linien setzt und einen Querschnitt zeichnet. Außerdem wendet Leonardo die Ergebnisse auch im umgekehrten Sinne an, daß also der leuchtende Körper vor der Öffnung eines dunklen Raumes steht und sein Licht in den Raum hineinsendet, wobei er dieselben Konstruktionen anwendet wie in der Arbeit von Ibn al Haiṯam über die Sonnenfinsternisse. Dies ist jedoch wieder bei al Kindî zu finden. Solche Untersuchungen hat auch Kamâl al Dîn bei der Behandlung der Camera obsura aufgestellt. (Vgl. S. 110 unten!)

Am meisten fällt die Übereinstimmung einer Figur im Codex Atlanticus, fol. 144r—b und 236r—b, mit der Figur des Ibn al Haiṯam auf, siehe den genannten Beitrag XIII,

S. 235. Leider sind von dem hier beigefügten Text nur einzelne Worte und Buchstaben vorhanden, so daß aus ihm nichts zu entnehmen ist. Nicht unwesentlich ist, daß hierbei der Satz steht:

„Jede Linie des Schattens ist gerade (diritte)."

Daß es außer dem lichtlosen Kernschatten noch einen zweiten Schatten gibt (vergl. hierzu S. 83 ff. dieser Arbeit), dem Licht beigemischt ist, ist auch noch aus einzelnen Andeutungen und besonders aus den Zeichnungen zu entnehmen. Dasselbe sagt auch Ibn al Haitam (a. a. O. S. 226).

Die oben herangezogene Figur auf S. 235 a. a. O. ist noch an folgenden Stellen des Codex Atlanticus zu finden: 144v—a; 195r—a und v—a; 204r—a.

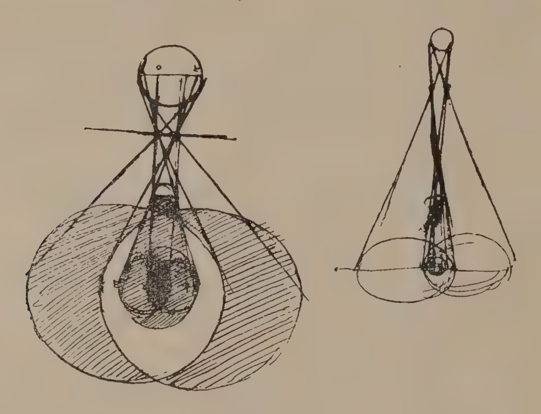


Fig. 41.

Selbstverständlich tritt hier auch wieder der „Maler" Leonardo in Erscheinung, da nämlich einzelne der diese Materie betreffenden Figuren in sorgsamer Weise perspektivisch gezeichnet sind, siehe in demselben Codex fol. 187r—a und 216r—b. (Zu letzterer Stelle Fig. 41.)

Außerdem wäre besonders dies nebenstehende ganze Blatt, von dem wir nur Figuren, nicht den Text besprechen, aus dem Codex Atlanticus, fol. 238r—b[1]), zu erwähnen, das

[1]) Seitens des italienischen Kommentators ist diese Seite gerade umgedreht reproduziert worden, was nicht allein an den Figuren, sondern auch an einzelnen Textstellen zu erkennen ist. Hier steht das Blatt aber richtig. D. V.

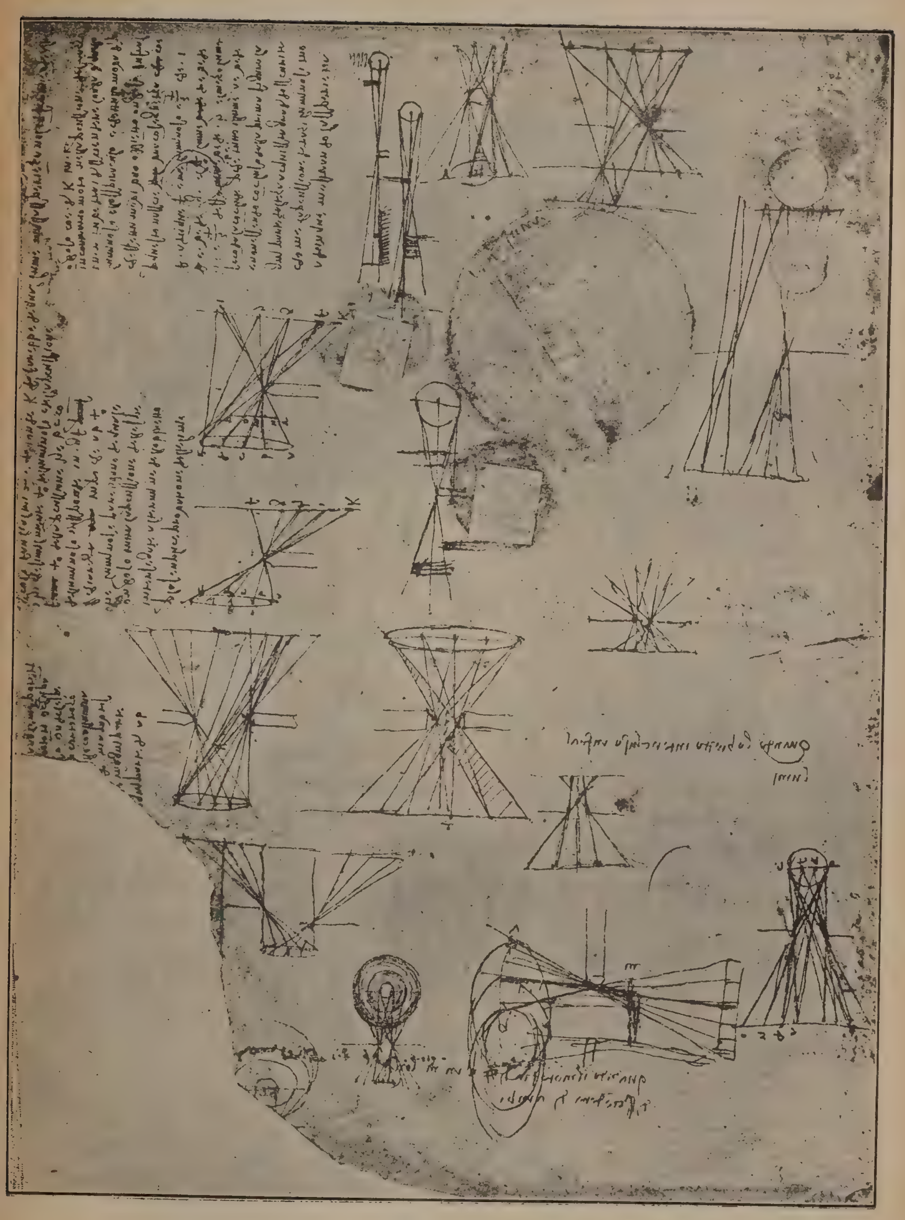


Fig. 42.

neben den Zeichnungen auf fol. 236 r—b und 298 v—a deutlich klarlegt, daß Leonardo die Figuren seiner Vorgänger im reichlichsten Maße benutzt hat.

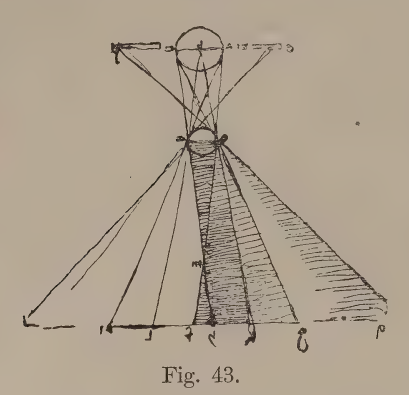


Fig. 43.

Besonders bemerkenswert ist eine weitere Figur im Codex Atlanticus, fol. 297 v—a, die fast ganz mit der a. a. O. S. 240 gegebenen Figur übereinstimmt. (Fig. 43).

Wie diese Figur erkennen läßt, hat Leonardo nun noch versucht, durch verschiedenartige Schraffierungen die einzelnen Schattenarten zu unterscheiden.

Daß auch andere Ansichten bestanden, geht daraus hervor, daß er von „dem Gegner“ spricht, nach dessen Ausspruch ein Licht a b nur im Punkte c beleuchte, während es nach dem Versuche in d, e, a beleuchte (statt „a“ ist „f“ zu setzen)[2]. (Fig. 44.)

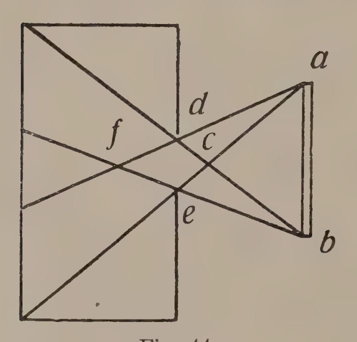


Fig. 44.

Wir haben hier, ähnlich wie bei Ibn al Haiṯam a. a. O., die Gegenüberstellung der Ansicht von Leonardo da Vinci gegenüber der anderer.

Dann kommt Leonardo noch zu den Fällen, daß der leuchtende Körper kleiner oder größer oder aber ebenso groß ist als der schattengebende Körper. Es ist hierüber nur eine Stelle[2]) in allen mir zur Verfügung stehenden Codices zu finden, und leider

---

[1]) C.-A., fol. 155 r—d, e: „Per l' avversario il lume lungo a b allumine-rebbe solo in punto c, e la sperienzia allumina in d, e, a.“ (Fig. 44.)

„Nach dem Gegner würde das Licht längs a b nur im Punkt c beleuchten, nach dem Versuch beleuchtet es in d, e, a.“ [Wahrscheinlich muß statt des letzten „a“ der Buchstabe „f“ stehen. D. V.]

[2]) M.-C, fol. 15 v: „luminoso, luminoso, luminoso“, (Fig. 45.)

gibt Leonardo keinen Text dazu. Es sind die drei folgenden Zeichnungen nach Figur 45.

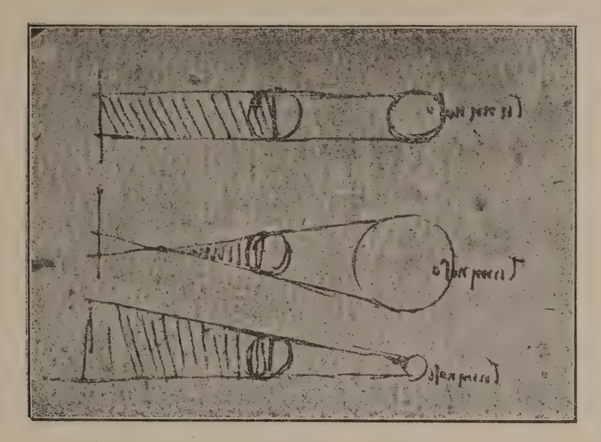


Fig. 45.

Auch hier sind die Anregungen Ibn al Haitams deutlich zu erkennen, vergl. hierzu a. a. O. S. 226 und 236. Deutlicher noch zeigen uns die al Kindîschen Figuren i. l. S. 245, die in derselben Wiedemannschen Veröffentlichung enthalten sind, daß Leonardo die oben dargestellten Figuren abgezeichnet hat.

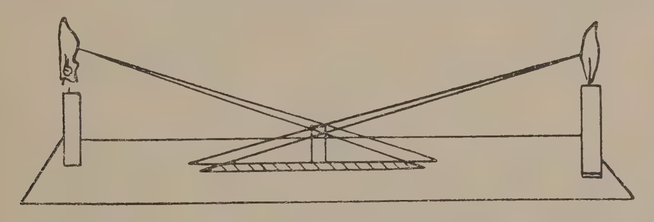


Fig. 46.

Nun ist noch ein nicht unwesentlicher Punkt in Leonardos Werken zu berücksichtigen. Er stellt nämlich zwischen zwei leuchtende Kerzen einen stabförmigen Körper und zwar einmal zwischen zwei gleich stark leuchtende, das anderemal zwischen zwei verschieden stark leuchtende Kerzen. Das beste Beispiel aus diesen Betrachtungen sagt, daß, wenn man zwei Lichter in gleicher Entfernung von einem schattengebenden Körper auf-

stellt, zwei entgegengesetzte Schatten erzeugt werden, die je nach der Leuchtkraft der Lichter verschieden sind[1]).

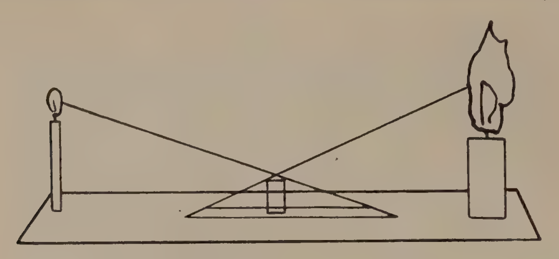


Fig. 47.

Hier tritt uns nämlich ein Vergleich zweier Lichtquellen entgegen, und soviel wir wissen, sind solche Vergleiche von den Vorgängern Leonardos, deren Werke uns bis jetzt bekannt geworden sind, noch nicht angestellt worden. Denn Leonardo

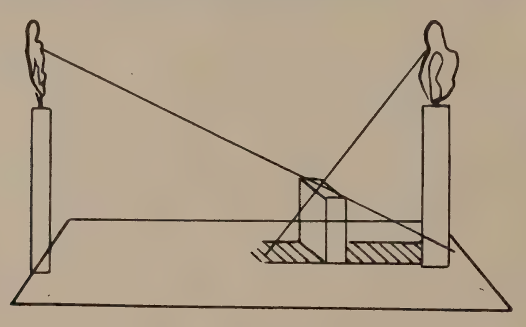


Fig. 48.

spricht ganz deutlich von der verschiedenen Dunkelheit der beiden entstehenden Schatten. Wenn er auch nicht berücksichtigt, daß der von dem schwächeren Lichte erzeugte Schatten infolge der Beleuchtung durch das stärker leuchtende Licht

---

[2]) M.-C, fol. 22r: „se a 2 lumi sara inframesso chonequal disstantia vncorpo onbroso. esso fara 2 onbre oposi te le quale siurieranno tanto nelle loro osscurita quanto fie no varie lepotentie de 2 lu mi opositi chelle creano.“ (Fig. 46.)

„Wenn man zwischen zwei Lichter in gleicher Entfernung einen schattengebenden Körper aufstellt, so wird er zwei entgegengesetzte Schatten erzeugen, die um so viel in ihrer Dunkelheit verschieden sind, als die Kräfte der beiden gegenüberstehenden Lichter, die sie hervorbringen, verschieden sind.“

im gewissen Verhältnis weniger dunkel erscheint wie der andere Schatten, so dürften hier dennoch wohl die Anfänge der Photometrie gesehen werden.

Ausführungen dieser Art sind in Leonardos Werken nur verhältnismäßig wenig zu finden[1]).

Aber eine andere und recht eigenartige Darstellung sei hier noch kurz erwähnt.

Es werden nämlich zwei kegelförmige Körper, die mit ihrer gleich großen Basis zusammenstoßen, von den beiden Spitzen aus beleuchtet. Leonardo sagt nun ganz richtig, daß in diesem Falle keiner von ihnen einen Schatten werfen kann[2]). (Fig. 49.)

Daß Versuche mit verschiedenen Lichtquellen zur Beleuchtung eines schattengebenden Körpers schon vor Leonardo angestellt worden sind, wissen wir a. a. O., S. 246 und 247. Diese Veröffentlichung zeigt, daß al Kindî, wenn er einen säulenförmigen Körper von mehreren Lichtern umgeben hatte, fand, daß Schatten entsprechend der Zahl der Lichtquellen entstanden. Auch gab er schon den Beweis des Satzes, daß, wenn Körper durch Lichter beleuchtet werden, die höher stehen als die Enden der ersteren, dann das Verhältnis der Schattenlänge zur Höhe der Körper gleich ist dem Verhältnis des Abstandes des Schattenendes vom Fuß des Leuchters über der Grundfläche; es hängt dies mit den zahlreichen Angaben zusammen, die sich über die Bestimmung der Höhe von Gegenständen bei wechselnder Sonnenhöhe finden.

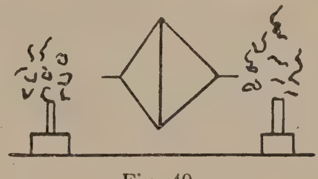


Fig. 49.

Leonardo geht aber hierüber hinaus, indem er die beiden Lichtquellen vergleicht.

---

[1]) Das ganze Blatt im M.—C, fol. 22r, ist mit ähnlichen Figuren bedeckt (siehe die Fig. 47 u. 48). Weitere Stellen sind noch: C.—A., fol. 199r—a; M.—Ash$_2$, fol. 23v und 30r.

[2]) M.—Ash$_2$, fol. 23v: „come me I 2 lumi che mettino imezo vno chorpo da 2 lati piramidato di basse piramide lo lasciano sanza onbra.“ (Fig. 49.)

„Wie zwei Lichter, zwischen denen sich ein Körper, von zwei Seiten pyramidenförmig von niedrigen Pyramiden, ihn ohne Schatten lassen.“

Wir wollen noch mit wenigen Worten die Perspektive, oder wie wir sagen, das perspektivische Sehen behandeln. Natürlich können hier nur die Betrachtungen berücksichtigt werden, die rein physikalischer Natur sind und nicht in das Gebiet der Malerei gehören. Denn für den Maler ist bekanntlich die Perspektive von größter Wichtigkeit, und es haben sich eine große Zahl Regeln und Anweisungen ergeben, die der Malende zu beachten hat. Diese ganzen Regeln, die zum Teil sogar ins Handwerksmäßige hineinspielen, fallen selbstverständlich aus dem Rahmen der vorliegenden Arbeit heraus und sollen deshalb nicht in Betracht gezogen werden. Es sei jedoch noch bemerkt, daß Leonardos Aussprüche und Darstellungen gerade auf diesem Gebiete äußerst zahlreich anzutreffen sind.

Leonardo stellt den Satz[1]) auf, daß jeder Körper, der größer als der Raum zwischen den beiden Pupillen ist, um das Vierfache seiner eigenen Größe von den Augen entfernt sein muß, falls er mit Hilfe der Augen abgeschätzt werden soll.

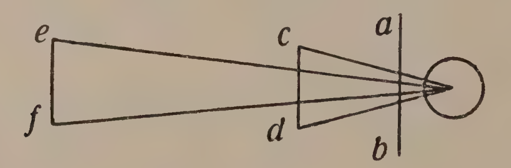


Fig. 50.

Wenn nun Körper von gleicher Größe verglichen werden, so kommt es darauf an, wie weit jeder von ihnen vom Auge entfernt ist. Derjenige Körper, der weiter vom Auge absteht, wird dann, wie Leonardo richtig angibt, kleiner erscheinen. Er spricht hier von Pyramiden, durch die sie gesehen werden. Diese Pyramiden sind um so schmäler, je weiter der betreffende Körper vom Auge entfernt ist[2]). Wir

---

[1]) C.-A., fol. 250 v—a: „Prospectiva. Ogni corpo maggiore delle interpopille che dall' occhio debbe essere giudicato, sarà distante 4 volte la sua grandezza.“ (Ohne Figur.)

„Perspektive. Jeder Körper, der größer ist als der Pupillenzwischenraum, und der mit dem Auge abgeschätzt werden soll, muß um das Vierfache seiner Größe entfernt sein.“

[2]) M.-A, fol. 9 v: „quelli. corpi. dequale. grandeza situati in uarie lochi

würden sagen, daß der Sehwinkel unter diesen Umständen ein kleinerer ist. (Fig. 50).

Betrachtet man nun ferner zwei ähnliche und gleiche Gegenstände, die hintereinander stehen, einmal in kleiner Entfernung, das anderemal in größerer Entfernung vom Auge, und sind die beiden Gegenstände jedesmal gleichweit voneinander entfernt, so wird der Größenunterschied infolge ihres an sich verschiedenen Abstandes vom Auge, im ersten Falle augenfälliger sein als im zweiten, da ja bekanntlich in der Ferne Unterschiede schwerer wahrgenommen werden[1]). Auch diese Erkenntnis Leonardos ist richtig. (Siehe Fig. 51.)

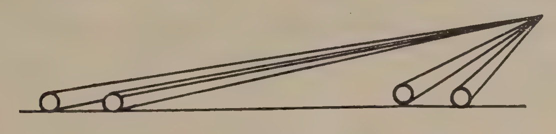


Fig. 51.

Diesen Beispielen ließe sich noch eine größere Anzahl ähnlicher hinzufügen.

Auch in diesem Abschnitte ist der Einfluß der Alten auf Leonardo ganz deutlich zu erkennen. Wenn auch seine Aussprüche nicht genau mit denen seiner Vorgänger übereinstimmen, so ist doch ihr Sinn aus den Werken der letzteren zu entnehmen. So wissen wir, daß Ibn al Haiṯam bereits von den Täuschungen in der Entfernung spricht, sobald sich

---

fieno veduti. perdiuerse. piramide. lequali sarano tanto. piv. strette quanto piv. lontana. fia. la sua. chagione.“ (Fig. 50.)

„Diejenigen Körper von gleicher Größe, die an verschiedenen Orten sich befinden, werden als verschiedene Pyramiden gesehen, die um so schmaler [von um so kleinerem Querschnitt] sind, als der Körper weiter entfernt ist [„als ihre Ursache weiter entfernt ist“; nach Ravaisson-Mollien's französischer Ausgabe].

[1]) M.-G, fol. 29 v: „Infralle due chose simili eequali posste luna dopo laltra chonuna data disstantia sidimossterra maggiore diferentia inelle lorgrandezze quan esse saran piu vicine allochio chelle vede.“ (Fig. 51.)

„Zwischen zwei ähnlichen und gleichen Gegenständen, die einer hinter dem anderen in gleichem Abstand aufgestellt sind, wird der Unterschied in ihrer Größe um so größer erscheinen, je näher sie dem Auge, das sie sieht, stehen.“

zwischen dem Auge und dem betrachteten Gegenstand nicht noch andere Gegenstände bekannter Größe befinden[1]); ferner, daß sich bei Änderungen der Entfernung auch die Sehwinkel ändern, trotzdem das Auge dies nicht in demselben Maße wahrnehmen kann[2]).

Wie ich dem Manuskript von Vogl über al Kindîs „de aspectibus“ entnehmen konnte, hat dieser im Anschluß an die Alten auch schon ausgesprochen, daß Gegenstände, die vom Auge unter gleichem Sehwinkel gesehen werden, gleich groß zu sein scheinen[3]). Es wird beim Vergleich zweier Linien der Eindruck hervorgerufen, als ob beide Linien gleich lang sind.

Auch sagt al Kindî, daß, je kleiner der Sehwinkel ist, unter dem ein Gegenstand gesehen wird, das Auge ihn desto kleiner sieht, also die Vorstellung eines kleineren Gegenstandes hervorgerufen wird[4]).

Nicht unerwähnt dürfte bei dem vorliegenden Kapitel über die geradlinige Fortpflanzung bleiben, daß gerade bei den hierzu gehörigen Aussprüchen, abweichend von seinem sonstigen Verfahren, Leonardo zweimal die Quellen angibt, denen er sein Wissen entlehnt hat. Das einemal ist dies bereits auf S. 2 dieses Kapitels geschehen, an welcher Stelle er von Aristoteles spricht. Das anderemal führt er Euklid an, der gesagt haben soll, daß alle gleichen Dinge, die in gleichen Abständen aufgestellt sind, sich unter sich gleich zeigen werden[5]). Sonst sind ja immer nur die Namen der benutzten Autoren ohne jeglichen Zusammenhang aufgezählt oder einzeln angeführt.

---

[1]) Alhazen, Opt. thes., III. Buch, Propos. 25 u. 26.

[2]) Vergl. hierzu Vogl, Roger Baco, S. 57.

[3]) Ebenfalls Ptolem. Opt. II. Buch, Govi, S. 26; ferner Euklids Opt., pos. 7, und Vitello, IV, 19.

[4]) Vergl. auch Eukl. Opt., pos. 5.

[5]) M.—E, fol. 30 r: „provasi pervna de vclide [= des Euklid. D. V.] cheddicie . . . E per una dispres pectiua — lechose eqvali posste indisstan tie equali sidimossterranno infralloro equali . . .“ (Ohne Figur.)

4. Kapitel.

Camera obscura und Bilder durch nicht runde Öffnungen.

Einen wichtigen Abschnitt in dem Kapitel von der geradlinigen Fortpflanzung des Lichtes bildet die Lehre von den durch eine Öffnung erzeugten Bildern, und zwar ohne Linse. Leonardo gibt von hierhergehörigen Versuchen eine Reihe von Abbildungen und bespricht sie zum größten Teile. Wir müssen diese Abbildungen in zwei Gruppen teilen, nämlich in diejenigen, die ein rundes Loch zum Durchlassen der Strahlen zeigen, und in diejenigen, bei denen andersgestaltete Löcher, z. B. eckige, kreuzförmige u. s. w. als Durchgangsöffnung verwendet sind.

Die erste Art von Abbildungen zeigt die jetzt allgemein bekannte Camera obscura in ihrer einfachsten Form, d. h. ohne Linse. Daß Leonardo eine sehr vollkommene Kenntnis der Camera obscura gehabt hat, steht zweifellos fest, da er sie an verschiedenen Stellen, zumeist korrekt ausgeführt, darstellt. Besonders charakteristisch ist eine Figur im Codex Atlanticus[1]) (siehe die 2. Zeichnung in der auf der nächsten Seite dargestellten Figur!), da nämlich aus ihr klar hervorgeht, daß das Bild, das von einer Flamme beleuchtet wird, nach dem Passieren durch eine enge Öffnung umgekehrt wird. Die Erkenntnis der Umkehrung ist aus dem Texte und besonders aus dieser Figur klar zu entnehmen.

Auf die nebenstehende Reproduktion soll an anderer Stelle (Seite 113) noch näher eingegangen werden.

Die an anderen Stellen befindlichen Abbildungen unterscheiden sich nicht prinzipiell von der eben angeführten, nur sind die Längenabmessungen andere.

Nicht unwichtig ist in diesem Kapitel, daß sich Leonardo

---

[1]) Vergl. C.-A., fol. 126r—a: „Come la basa x o, sendo allumato dal punto p, genera u[na] pirimida che finisce nel punto c, e ricausane un' altra basa in r S, e sotto sopra riceve ciò che è in x o.“ (Fig. 52.)

„Wie die Basis x o, die von dem Punkte p beleuchtet ist, eine Pyramide hervorbringt, die im Punkte c endet und wiederum davon eine andere Basis in r S hervorruft, und das, was in x o unten ist, oben erhält.“

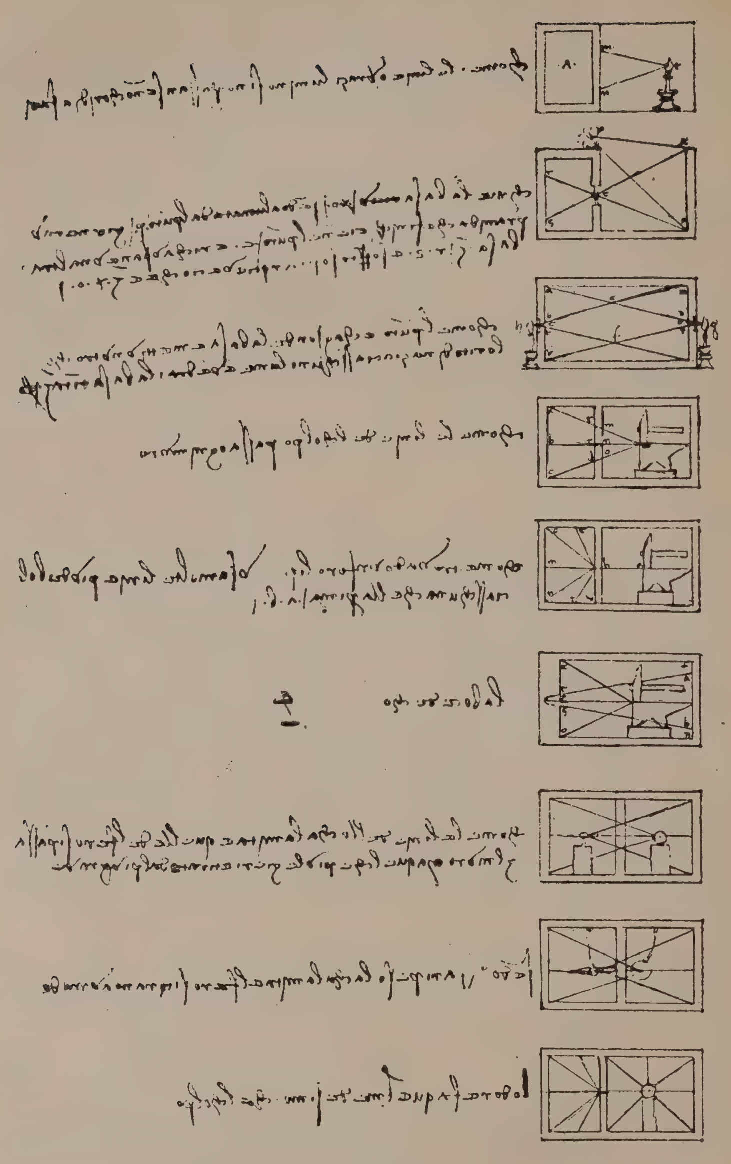


Fig. 52.

auch mit der Theorie der Camera obscura beschäftigt. Er spricht hierbei von der Spezies der Körper, die durch Öffnungen in einen dunklen Raum dringen, und die sich stets umkehren müssen. Hierbei erwähnt er das III. Theorem, d. h. das aus Euklids Optik.

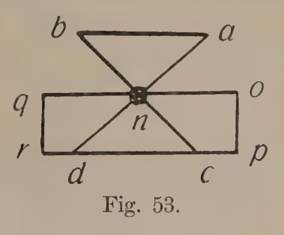


Fig. 53.

Wir erkennen aus diesem Ausspruche, daß Leonardos Vorstellung von der Umkehrung eine durchaus richtige war[1]). (Fig. 53.)

Wir haben oben die Lochcamera besprochen, d. h. die Camera ohne Linsen.

Leonardo war nur diese Art von Dunkelkammern bekannt, und zwar solche mit einer verhältnismäßig kleinen Öffnung. Die umkehrende Wirkung der Konvexlinsen, die ja zu seiner Zeit schon als Brillengläser angewendet wurden, kannte er augen-

---

[1]) C.-A., fol. 262 r—a: „Il razzo solare, che, per istretto spiraculo facto in sottil pariete, penetra in loco oscuro, in ogni grado della sua lunghezza m.“ (Ohne Figur.)

„Der Sonnenstrahl, der durch eine enge Öffnung, die in einer dünnen Wand angebracht ist, in einen dunklen Raum eindringt, in jedem Grade seiner Länge m.“

Und:

M.-D, fol. 10 r: „Inpossibile he chelle spetie dechorpi chepenetran perlisspirachuli illocho osscuro non sariverscino provasi perla 3 diquesto chedice (leparticule diciasscun razo onbroso olluminoso senpre son rettilinie adunque la parte b dellobbietto a b passando perlo spiracholo n nellocho oscuro o q p r sinpremera nella paricte p r nelsito c elloposito stremo a delmedesimo obbietto a b passera per ilmedesimo spirachulo n essinpremera nella medesima pariete c r nelpunto r echo lostremo desstro ditale obbietto sifa sinistro elsinistro sifara destro ec [etc.]. —“ (Fig. 53.)

„Es ist unmöglich, daß die Spezies der Körper, die durch Öffnungen in einen dunklen Raum dringen, sich nicht umkehren. Es ergibt sich aus dem III. Theorem, das sagt: die Partikeln eines jeden dunklen oder hellen Strahles sind stets geradlinig. Daher wird der Teil b des Gegenstandes a b, wenn er durch die Öffnung n hindurchgeht, im dunklen Raume o q p r sich auf dem Schirme p r in der Stellung c einprägen, und das entgegengesetzte Ende a desselben Gegenstandes a b wird durch dieselbe Öffnung n hindurchgehen und wird sich auf demselben Schirm c r im Punkte r abbilden; und wird das rechte Ende dieses Gegenstandes zum linken, das linke zum rechten machen u. s. w.“ [Siehe auch M.-D, fol. 8.]

scheinlich noch nicht oder benutzte sie doch nicht. Daß man aber Lichtstrahlen mittels Linsen verstärken konnte, wußte er bereits, denn an einer Stelle[1]) im Codex Atlanticus (übrigens der einzigen Stelle dieser Art in allen mir zugänglichen Werken) erkennt man deutlich eine Laterne (Fig. 54), in der sich ein Licht befindet, und die mit einem linsenförmigen Glas in der Vorderwand versehen ist.

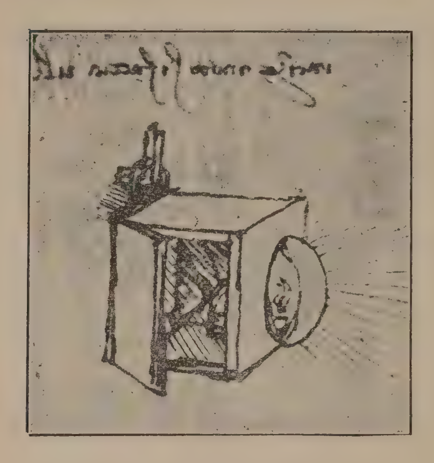


Fig. 54.

Die Strahlen divergieren. Der beistehende Text spricht davon, wie man ein Licht schön und groß machen kann. Man hat in der Tat eine Sammellinse, die bei der betreffenden Lage divergierendes Licht liefert, das aber doch nicht so stark divergiert, wie wenn sie nicht vorhanden wäre.

Die übrigen Stellen, an denen von der Camera obscura die Rede ist, sind folgende: C.-A. fol. 135 v—a, 262 r—d und 337 r—a[2]) Bemerkenswert ist es, daß nur im Codex Atlanticus von den Dunkelkammern selbst die Rede ist.

Zu erwähnen ist noch ein unten mitgeteilter unklarer Ausspruch[3]) Leonardos, bei dem sich die Figur 55 befindet. Es scheint aus ihm hervorzugehen, daß sich Leonardo hier mit der Frage der Abnahme der Helligkeit befaßt hat.

---

[1]) C.-A., fol. 9 v—b: „In che modo si faccia un lume bello e grande.“ (Fig. 54.)

„Auf welche Weise ein Licht schön und groß wird.“

[2]) Siehe im Kapitel: Das Auge.

[3]) Vergl.: „Il Codice di Leonardo da Vinci nella Biblioteca del Principe Trivulzio in Milano“, herausgeg. von Beltrami, Mailand, 1901, Tafel 5ª, fol. 3 v:

„Se. f. fia. ullume in una. lanterna cioe imezo sel dilatare che ffa. lo suo splendore. in. // c. d. entra nel superiore disgregamento 2 volte /// anchora givdicerai 2 volte essere piv presso allume che. a. b.“

Höchst wichtig für die weitere Erforschung der Kenntnisse Leonardos sind die Stellen in seinen Werken, an denen von der Verwendung der Camera obscura zu irgendwelchen Zwecken gesprochen wird. Leider ist hiervon nicht viel zu finden, nur hat er u. a. sich die Aufgabe[1]) gestellt, aus der Größe der Sonne mittels der Camera ihre Entfernung zu bestimmen. (Fig. 56.)

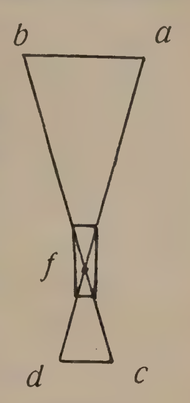


Fig. 55.

Aber es ist aus dieser kurzen Stelle nicht zu entnehmen, ob die Berechnung wirklich richtig ist. Immerhin ist es interessant, daß er diese Aufgabe erwähnt und ein Beispiel zu geben versucht. Das Gleiche gilt von einer weiteren Stelle[2]), bei der nur vom Messen der Sonne die Rede ist, wenn man ihre Entfernung kennt. (Fig. 57.)

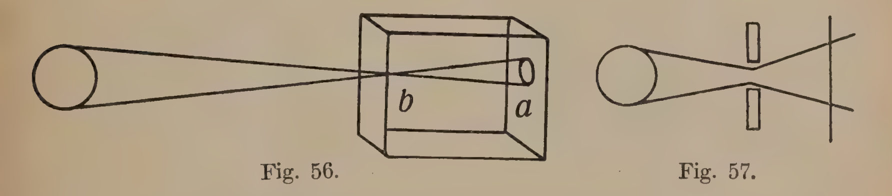


Fig. 56. Fig. 57.

Auch hier handelt es sich um eine Stelle, die vollständig ohne Zusammenhang mit dem anderen Text auf derselben Seite gefunden wurde. Wir können weder aus der Figur noch aus den wenigen Worten etwas entnehmen. Wahrscheinlich hat sich Leonardo eine Aufgabe gestellt, auf deren Lösung er nachher nicht wieder zurückgekommen ist.

---

[1]) M.-A, fol. 20v: „fa cheda a b. sia. braccia 100 effa ilbuso donde. passano. irazi solari si $^1/_{16}$ di braccia e nota quanto ilrazo ecresscivto nela perchussione.“ (Fig. 56.)

„Mache, daß von a nach b 100 Ellen sind, mache, daß das Loch, durch das die Strahlen hindurchgehen, $^1/_{16}$ Ellen sei, dann notiere, um wieviel der Strahl bei dem Auftreffen zugenommen hat.“

[2]) C.-A., fol. 243r—b: „Misura della grandezza del sole, sapiendo la distanzia.“ (Fig. 57.)

„Das Messen der Größe der Sonne, wenn man die Entfernung weiß.“

Zur zweiten Kategorie gehören, wie schon oben gesagt, die Abbildungen und Bemerkungen, die die Erzeugung von Bildern durch eckige Öffnungen hindurch zum Gegenstande haben. Es sind verhältnismäßig wenige Stellen zu finden, aber diese wenigen zeigen, daß Leonardo vollständig richtige Beobachtungen gemacht hat. Denn es ist bekannt, daß die von eckigen Öffnungen erzeugten Bilder je nach den Umständen sich anders verhalten als die Bilder, die durch runde Öffnungen entstanden sind. Man sollte ja scheinbar meinen, daß die eckigen Öffnungen Bilder hervorbringen, die zwar umgekehrt sind, aber doch stets die Gestalt der betreffenden Öffnungen beibehalten. Dies ist jedoch nur der Fall, wenn der Auffangeschirm nicht über eine bestimmte Entfernung hinaus von der Öffnung aufgestellt ist.

Er bespricht diese Fälle und zwar sagt er, daß der durch eine kleine Öffnung hindurchgetretene Lichtstrahl von dieser

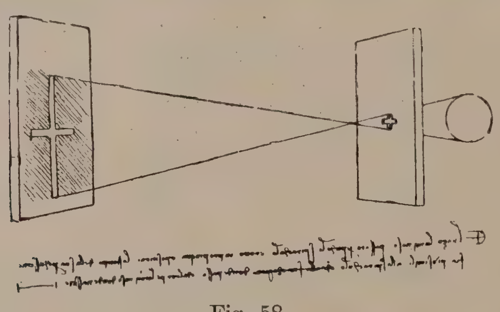


Fig. 58.

Öffnung ein getreues Abbild gibt, wenn die Öffnung der gegenüberliegenden Wand nahe steht. Die Gestalt des leuchtenden Körpers kommt in diesem Falle nicht in Frage[1]).

Die Figur 58 zeigt auch deutlich, daß eine gleichartige Umkehrung der Öffnung stattgefunden hat.

[1]) M.-C, fol. 9r: „Elrazo. luminoso. passato. per picholo spiraculo. erotto. in propinqua. opositione. la stanpa. della sua perchussione fia. piv simile. allo spirachulo. donde passa. chalcorpo luminoso donde nasscie.“ (Fig. 58.)

„Wenn der Lichtstrahl durch eine kleine Öffnung gegangen ist und bei einer nahen Gegenüberstellung [sc. einer Wand] unterbrochen ist, so wird der Abdruck seines Auftreffens ähnlicher der Öffnung, durch die er gegangen ist, als dem leuchtenden Körper, von dem er entsteht.“

Ist aber die auffangende Wand weiter entfernt, so wird das Bild dem leuchtenden Körper ähnlicher und nicht mehr der Öffnung selbst[1]). (Fig. 59.)

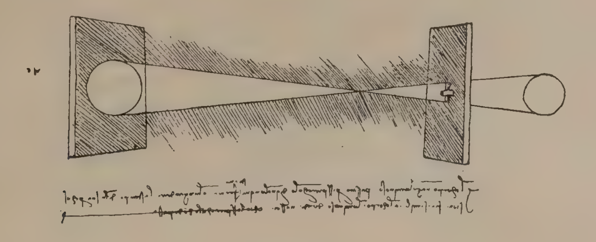


Fig. 59.

Nachdem er nun diese beiden Fälle im einzelnen behandelt hat, gibt er auch noch eine allgemeinere Ansicht, daß nämlich der von einer leuchtenden Kugel kommende Strahl nach einem

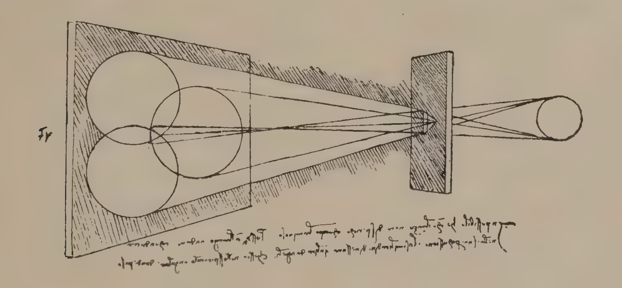


Fig. 60.

langen Laufe niemals imstande ist, eine winklige Öffnung, durch die er hindurchgegangen ist, in den gleichen Winkeln zu reproduzieren[2]). (Fig. 60.)

---

[1]) M.-C, fol. 10 v: „Il razo luminoso. passato. perisspirachulo. di qualunque strana forma. alungandare. lastanpa. della sua. perchus sione. fia. simile. al-chorpo. luminoso. donde nasscie.“ (Fig. 59.)

„Wenn der Lichtstrahl durch eine Öffnung von irgendeiner sonderbaren Form hindurchgegangen ist, so ist der Eindruck seines Aufstoßens bei einem langen Lauf dem leuchtenden Körper ähnlich, von dem er entsteht.“

[2]) M.-C, fol. 10 v: „Inpossibile he che ilrazo. nato dispericho. luminoso. Possa. allungo. andare chonducere nella. sua. perchussione. lasimilitudine dinessuna. qalita. dangoli. chessia. nellosspiraculo angulare dondepassa.“ (Fig. 60.)

Außerdem erwähnt er die schönen Wirkungen, die dadurch entstehen, daß man die Sonne durch ein sternförmiges Loch hindurchgehen läßt[1]), und ferner die eigenartige Wirkung, die die durch eine kreuzförmige Öffnung hindurchgehenden Lichtstrahlen auf einer dahinter stehenden Kugel hervorrufen[2]).

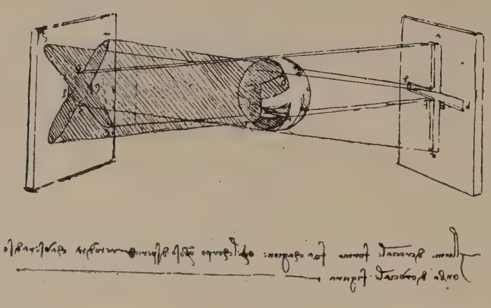


Fig. 61.

Wie die beistehende Figur 61 zeigt, befindet sich dann in diesem zweiten Falle noch hinter der Kugel ein Auffangeschirm, auf dem das vorher aufrecht stehende Kreuz als ein liegendes dargestellt ist, und zwar ist dies dadurch entstanden, daß die Kugel dazwischen gestellt ist, wie aus dem Gange der gezeichneten Strahlen zu erkennen ist. Leonardo sagt dazu, daß das in Form eines Kreuzes leuchtende Licht einen kreuzförmigen Schatten hervorruft, wenn man in seinen Gang einen undurchsichtigen runden Körper hineinbringt.

Diese Annahme Leonardos ist aber falsch, da ja die am Schnittpunkt des Kreuzes hindurchgehenden Strahlen schon für sich einen runden Schatten erzeugen. Der ganze Schatten würde eine vollständig verschwommene Figur hervorrufen,

„Es ist unmöglich, daß der von einer leuchtenden Kugel kommende Strahl bei einem langen Lauf bei seinem Aufstoßen die Ähnlichkeit irgendeiner Art von Winkeln herbeiführen könnte, die [sc. Art] in der winkligen Öffnung, durch die er hindurchgeht, vorhanden ist.“

[1]) M.-C, fol. 7r. (Ohne Figur.)

[2]) M.-C, fol. 11r: „Illume. dicrociale. forma. fia chagione. chelchorpo. onbroso. dispericha. retondita. chavsera dise onbra. dicrvciale figvra.“ (Fig. 61.)

„Das Licht in Form des Kreuzes wird die Ursache, daß der schattengebende Körper von sphärischer Rundung seinen Schatten in der Figur des Kreuzes hervorbringen wird.“

selbst wenn man ganz bestimmt gerichtete Strahlen durch das aufrecht stehende Kreuz hindurchsenden würde.

(Siehe hierzu den vorletzten Absatz auf S. 113!)

Zum Schlusse sei zunächst ein Rückblick über die Geschichte der Camera obscura selbst gegeben, damit wir feststellen können, was Leonardo wohl auf diesem Gebiete nur zusammengetragen, und was er neu geschaffen hat. Man hat[1]) öfters geglaubt, ihn als den ersten ansehen zu müssen, der die Camera obscura erdacht und verwendet hat.

Sehr oft wird ihre Entdeckung auch Porta (1538—1615) oder Maurolycus (1494—1575)[2]) zugeschrieben. Auch Leon Battista Alberti (1404—1472)[3]) soll eine Art Camera obscura benutzt haben, wie bereits oben angeführt ist. In dieser Literaturquelle ist auf H. Janitschek[4]) verwiesen. Dieser protestiert aber, wie Müntz[5]) angibt, gegen eine solche Auffassung. Dagegen halten andere Schriftsteller, z. B. Tiraboschi, Promis, Marchese und Séailles[6]) daran fest. Alberti hätte in einem kleinen Kasten, der vorn ein Loch habe, Berge u. s. w. gezeigt und dadurch ein Mittel gehabt, die natürlichen Perspektiven zu zeichnen und die Figuren mittels eines Instrumentes zu verkleinern; ebenfalls hätte er das Mittel erfunden, „kleine Objekte zu vergrößern."

Müntz hält aber dennoch Leonardo für den Erfinder der Camera obscura, sogar gegenüber M. Curtze[7]), nach dessen Ansicht schon im Jahre 1342, vielleicht schon 1321, das Prinzip der Dunkelkammer bekannt und besonders zu astronomischen

---

[1]) Vergl. z. B. Jochmann, Grundriß der Experimentalphysik, Berlin, 1885, S. 174.

[2]) Vergl. z. B. Gerland und Traumüller, Geschichte der Experimentierkunst, Leipzig, 1899, S. 85.

[3]) Ib. S. 84.

[4]) Janitschek, L. B. Albertis kleine kunsthistorische Schriften, Wien, 1877, S. 229.

[5]) Müntz, L. d. V. et l'invention de la chambre noire; „Revue scient." 1898, 4. Serie, S. 545—547.

[6]) Vgl. z. Beisp. Séailles, L. d. V., l'artiste etc., Paris, 1892, S. 30.

[7]) Curtze, Die Dunkelkammer, eine Untersuchung über die Vorgeschichte derselben, in „Himmel und Erde", Berlin, 1901, S. 225—236.

Beobachtungen, bei Sonnen- und Mondfinsternissen in Benutzung gewesen sei. 1342 habe nämlich ein gewisser Petrus von Alexandria ein 1321 verfaßtes hebräisches Werk von Levi ben Gerson (gest. 1344) ins Lateinische unter dem Titel: „Leo de Balneolis Jsrahelita, De sinibus, chordis et arcubus, item Instrumento Revelatore secretorum“ [1]) übersetzt. Im dritten Kapitel, von dem Curtze durch P. Tannery, Paris, eine genaue Abschrift (aus dem Codex Vindobonensis Palatinus 5277) erhalten hat, sei das Prinzip der Camera obscura enthalten: „Wenn Sonnen-, Mond- und anderen Lichtquellen entstammende Strahlen durch irgend ein Fenster oder Loch (Öffnung im Fenster) einfallen, so ist das Bild derselben allerseits entsprechend dem Winkel, welchen der Halbmesser des leuchtenden Körpers an der Eintrittsstelle bildet, breiter als die Lochöffnung“, und: „Je kleiner die Öffnung im Fenster ist, desto genauer wird das Ergebnis der Messung werden.“ Levi ben Gerson habe also die Dunkelkammer (in Verbindung mit einem Hohlspiegel) [2]) rund 250 Jahre vor Porta gekannt und zwar zu Beobachtungen von Sonnenfinsternissen.

Trotz dieser Argumente verteidigt Müntz [3]) seine Ansicht, daß Leonardo der Erfinder der Camera obscura sei, doch weiter und wird von Erdmann [4]) hierin unterstützt. Denn, so führt Müntz seinen Beweis, Levi ben Gerson habe den Sonnenstrahl studiert, woraus dieser sich zusammensetze, den Strahl des Mondes oder irgend eines anderen leuchtenden Strahles, wenn er durch ein Fenster oder irgend eine Öffnung geht. Levi ben Gerson füge sogar eine Erklärung [5]) hinzu, aus der hervorgehe, daß seine Vorrichtung *keine* Beziehung zur

---

[1]) Curtze, Die Abhandlung des Levi ben Gerson über Trigonometrie und den Jacobstab, „Bibl. Mathem.“, 1898, S. 97–112.

[2]) Siehe Curtze, l. c., S. 235, unten.

[3]) Müntz, L. d. V. et les savants du moyen âge, „Revue scient“. 4. Serie, 1901, S. 510–512.

[4]) Vergl. Erdmanns Artikel im „Prometheus“, 1899, S. 204—206.

[5]) „Radius solis vel lunae vel cujuscunque corporis radiosi qui intrat per quamcunque fenestram vel per quodcunque foramen terminatus ad aliquid objectum distans a praedicto foramine, est latior quantitate foraminis ex qualibet parte in quantitate in qua terminaret angulum semidyameter corporis radiosi in loco foraminis.“

Camera obscura habe. Dieselbe Erklärung sei aber schon von Roger Baco[1]) (1210 oder 1214—1292) gegeben, ohne die Sache richtig erkannt zu haben. Nach des letzteren Ansicht handele es sich um das Phänomen der leuchtenden Strahlen, die durch eine runde Öffnung gehen. Auch Roger Baco wäre von der Erfindung der Camera obscura weit entfernt gewesen[2]). Ja es mache sogar Levi ben Gerson, um den Grad der Verdunkelung eines leuchtenden Körpers festzustellen, in einem Fenster ein rundes Loch und stelle dahinter eine Tafel, auf die der Strahl leuchtet, wenn er das Fenster passiert, was gut zu beobachten sei. Levi ben Gerson bediene sich stets eines Fensters (oder runden Dachfensters) oder eines Loches, sei es rund oder eckig. Leonardo betone aber stets das runde[3]) Loch, gegenüber einer von der Sonne beleuchteten Fläche. Niemals habe Levi ben Gerson daran gedacht, näher als die Gestirne liegende Objekte auf dem Schirm darzustellen, also auch nicht daran, Gegenstände abzubilden, die kein eigenes Licht haben. Dagegen habe Leonardo andere Körper zur Darstellung genommen und festgestellt, daß die Bilder die Farben der betreffenden Körper haben, aber kleiner und umgekehrt sind. Soweit bisher bekannt, sei Leonardo da Vinci in der Tat der erste, der von irdischen Gegenständen mittels der Lochkammern Bilder erhielte.

Gegenüber dieser Beweisführung von Müntz aber hat bereits al Kindî (ca. 750—850) den Strahlengang von einem leuchtenden Körper durch eine Öffnung zu einer Tafel untersucht und sie richtig dargestellt, ohne jedoch etwa ausdrücklich von der Umkehrung des Bildes zu sprechen[4]).

Kann man also al Kindî nicht als den ersten, der eine Camera obscura hergestellt hat, ansehen, so ist dies bei Ibn

---

[1]) Vergl. Charles, Roger Bacon, Paris, 1861, S. 302.

[2]) Anmerkung des Verfassers: Bestätigt ist diese Ansicht durch Vogl, Roger Baco, S. 87 unten.

[3]) Anmerkung des Verfassers: „Nicht richtig, vergl. in diesem Kapitel die Besprechung über den Strahlengang durch eckige und andersgestaltete Öffnungen."

[4]) Wiedemann, Sitzungsberichte der physikalisch-medizinischen Sozietät in Erlangen, Bd. 39, 1907, S. 247, Fig. 9.

al Haiṯam der Fall, der in seiner Schrift: „Über die Figuren der Finsternis bei Sonnenfinsternissen“ die sichelförmige Gestalt mittels der Camera obscura betrachtet, wodurch also die Umkehrung in der Camera beobachtet worden ist. Bei Mondfinsternissen hätten jedoch diese Beobachtungen nicht mittels der Camera obscura stattgefunden, da die Lichtintensität nach Ibn al Haiṯams Ausspruch zu gering war. (Herr Professor Dr. Wiedemann wird hierüber in Eders Jahrbuch 1910 berichten. Er hat die betreffende Schrift nach zwei Handschriften studiert, die ihm in dankenswertester Weise von Professor Arnold aus dem India office in London zur Verfügung gestellt wurden.)

Es liegen hier also die Beobachtungen zweier Vorgänger Leonardos vor, nämlich al Kindîs und Ibn al Haiṯams. Ersteren kannte Leonardo durch seinen Freund und Lehrer Fazio Cardano (geb. 1444), der al Kindîs Werke besaß, wie Leonardo selbst im Codex Atlanticus berichtet[1]), sowie durch Gerard (Gherardo) von Cremonas Übersetzung[2]) des al Kindîschen Hauptwerkes. Ibn al Haiṯam kannte Leonardo ebenfalls, wie in den obigen Ausführungen verschiedentlich nachgewiesen ist. Mindestens hat Leonardo von den genannten beiden Gelehrten die Anregung zu seinen Versuchen mit der Camera obscura erhalten, zumal die bereits auf S. 93 gegebene Figur 45 eine sehr große Ähnlichkeit mit der al Kindîschen Figur zeigt. Wegen einer anderen Ähnlichkeit von Figuren sei auf S. 103, Fig. 57, dieser Arbeit hingewiesen.

Die Zeichnungen und Mitteilungen al Kindîs und Ibn al Haiṯams würden schon genügen, um den Muslimen die Priorität in der Konstruktion der Camera obscura zuzuerkennen. Nun hat aber Muhammed Ibn al Hasan Kamâl

---

[1]) C.—A., fol. 225 r—b, wo es im Urtext lautet:
„le pro portonj. dalchino cholle
chōsideratione del marliano. la
mes [messer] fat jo.“

Vergl. hierzu weiter: Solmi, L. d. V., Berlin, 1908, S. 99, sowie: d'Adda, L. d. V. e la sua libreria, 1873, S. XXXIX, wo es heißt: „Le proportioni d'Achino [Alchindi].“

[2]) Vergl. Vogl, Roger Baco, S. 32, und Wiedemanns XI. Beitrag, S. 75.

al Dîn Abu'l Hasan (Hosein) al Fârisî[1]) (gest. ungef. 1320) in einem Kommentar zu der Optik Ibn al Haitams eine eingehende Theorie der Camera obscura gegeben. Dabei hat er, was für den Nachweis der Quellen von Leonardo da Vinci's Wissen wichtig ist, die Anwendung der Camera obscura auf terrestrische Verhältnisse hervorgehoben.

Kamâl al Dîn al Fârisî spricht ferner eingehend von der Umkehrung des Bildes, das von einem beleuchteten Gegenstande herrührt. Seine Entwicklungen sind so klar, daß ein Zweifel darüber, daß er den Vorgang der Umkehrung u. s. w. erfaßt hat, ausgeschlossen ist.

Überraschend ist, wie genau eine Abbildung im Codex Atlanticus auf fol. 238 r—b (vergl. Fig. 42 d. W.) ungefähr in der Mitte des Blattes sich an die von Kamâl al Dîn al Fârisî anschließt. Es scheint danach, als ob dessen Werk im Abendlande bekannt war. Dafür sprechen auch die nahen Beziehungen, die zwischen dem Regenbogentheorem von Theodosius Saxonicus und von Kamâl al Dîn al Fârisî bestehen.

Danach dürfte Leonardo entgegen der Ansicht von Müntz die Camera obscura nicht allein in ihren Anfängen, sondern auch in ihrer Entwicklung übernommen und nichts Eigenes hinzugetan haben.

Was fernerhin die Erzeugung von Bildern durch eckige Öffnungen hindurch betrifft, so ergibt sich aus dem Studium der Vorgänger Leonardos, daß auch sie sich schon eingehend mit dieser Materie befaßt haben.

Schon Ibn al Haitam diskutiert in der oben erwähnten Schrift den Einfluß der Größe der Öffnung. In Ibn al Haitams anderm Werke, der „großen Optik" findet sich nichts hierüber.

Aus der Zeit vor Ibn al Haitam kann nur Aristoteles angeführt werden, der ebenso angegeben hat, daß die Sonne auch durch quadratische Löcher wohl Kreise, aber keine eckigen Figuren erzeugt. Daß Leonardo Aristoteles und seine Werke kannte, geht, wie zum öfteren erwähnt ist, aus einer Reihe von Stellen in den einzelnen Codices hervor.

---

[1]) Vgl. Wiedemann, „Über die Erfindung der Camera obscura" in „Verhandlungen der deutschen physikalischen Gesellschaft", 12. Jahrgang, Nr. 4, S. 168.

Außerdem aber ist Vitello[1]) anzuführen, der diesem Teile der Optik mehrere Propositionen widmet. Auch sein Zeitgenosse Peckham[2]) (1222—1291) bringt eine eingehende Erörterung über die Erscheinungen beim Durchgange der Lichtstrahlen durch eine dreieckige Öffnung[3]). Es ist anzunehmen, daß auch Peckham diese Sache irgendwo entnommen und höchstens erweitert hat[4]).

Dann aber spricht ein weiterer Zeitgenosse Vitellos, Roger Baco, über derartige Vorgänge und gibt genauere Beobachtungen in seinem Opus majus II, S. 493ff., und im Tractatus de speculis, S. 181—195. Betrachten wir z. B. die erste Beobachtung, die Baco über diese Erscheinungen gibt, und die Vogl[5]) in dem unten zitierten Werke wie folgt übersetzt: „Wir lassen die Sonnenstrahlen durch eine kleine, dreieckige Öffnung in der Wand eines dunklen Raumes fallen. Fangen wir das Bild in verschiedenen Entfernungen auf, so finden wir, daß das Projektionsbild bei einer bestimmten Distanz der Öffnungsfigur ähnlich ist, bei einer größeren Entfernung jedoch allmählich eine Gestalt annimmt, die dem leuchtenden Objekte entspricht, so daß, wenn dieses kugelförmig, die Projektion ein Kreis, und wenn es sichelförmig ist wie die Sonne bei der Sonnenfinsternis, geschweift erscheint."

Ferner erwähnt Levi ben Gerson schon die Erscheinungen bei Lochkameras mit nicht runden Öffnungen[6]).

---

[1]) Vergl. Vitello, Optik II, prop. 35—40, wo es z. B. in prop. 39 heißt: „Omne lumen per foramina angularia incidens rotundatur."

[2]) Joannes Peckham, dessen Werk „Perspectiva communis" Leonardo gekannt hat, da er im C.-A., fol. 203r—a, eine Übersetzung der Einleitung dieses Werkes gibt. (Siehe die Angaben über Peckham, S. 27.)

[3]) S. 2, prop. 5 in der 1593 in Venedig erschienenen italienischen, von Paolo Gallucci Salodiano herausgegebenen Ausgabe des eben genannten Peckham'schen Werkes.

[4]) Die Vermutung liegt nahe, daß Peckham diese Sache dem Ptolemaeus entlehnt hat, da ja sein Werk nach der Optik des letzteren verfaßt ist. Aber da das erste Buch der Optik des Ptolemaeus nicht mehr vorhanden ist, so kann kein bestimmter Schluß gezogen werden. Wie Vogl (siehe die folgende Anmerkung) schreibt, soll Roger Baco in seinem Opus majus II an der oben angeführten Stelle angedeutet haben, daß diese Erscheinung in Euklids Buche „de speculis", Satz III, erwähnt sei.

[5]) Vergl. Vogl, Roger Baco, S. 85ff.

[6]) Vergl. Curtze, Die Dunkelkammer u. s. w., in „Himmel und Erde", Berlin, 1901, S. 229.

Vergleichen wir hiermit die hierauf bezüglichen Stellen im vorliegenden Werke, so sehen wir, daß in ihnen derselbe Gedanke, wenn auch getrennt, ausgesprochen ist.

Wir sind also zu der Annahme berechtigt, daß Leonardo sein Wissen auch in dieser Sache von seinen Vorgängern übernommen hat. In den letztgenannten Schriften, vor allem in denen Ibn al Haiṯams, finden sich, so weit ich konstatieren konnte, die von Leonardo gezeichneten genauen Figuren nicht, jedoch müssen seine Angaben zu dem eben ausgesprochenen Urteile führen. Es wird wohl Leonardo den übernommenen und einmal aufgenommenen Gedanken weiter ausgesponnen haben, und dann hat er diese Gedanken in seiner eingehenden Art zur Darstellung gebracht, indem er die Einzelheiten an möglichst genauen Figuren untersuchte. Wie schon einmal erwähnt, sind die zu diesem Kapitel gehörigen Zeichnungen Leonardos meist sehr sorgfältig ausgeführt.

Besonders fällt uns die Fig. 61 auf, die eine Zeichnung auf einer Kugel zeigt. Dies wäre vielleicht nicht so sehr auffällig, wenn wir nicht wüßten, daß man sich gerade zu Leonardos Zeit mit Figuren auf der Kugel im Anschluß an astronomische Probleme beschäftigt hat.

Hier sei nun auf die bereits auf S. 99 erwähnte und in Fig. 52 reproduzierte Stelle[1]), von der dort nur ein geringer

---

[1]) C.-A., fol. 126r—a: „Come le linie, o ver razzi luminosi, non passan se non corpi diafani.

Come la basa x o, sendo allumata dal punto p, genera u [na] piramida che finisce nel punto c, e ricausane un' altra basa in r S, e so tto sopra riceve ciò che è in x o.

Come 'l punto è cagione della basa, e metti un vetro colorito dinanzi a ciascun lume, e vedrai la basa tinta in quello.

Come le linie del colpo passa ogni muro.

Come trovando un foro, lì si causa molte linie, più debole ciascuna che la prima a b.

La boce d' eco.

Come le linie della calamita e quelle del ferro si passan il muro, ma quel ch' è più leggieri è tirato dal più grave.

Sendo di pari peso, la calamita e 'l ferro si tirano a un modo.

L' odore fa quel medesimo che 'l colpo.“ (Hierzu Fig. 52, S. 100.)

„Wie die Linien oder auch Lichtstrahlen nur durchsichtige Körper durchdringen.

Teil angeführt worden ist, näher eingegangen. Sie bedeckt fast eine Seite im Codex Atlanticus und steht inhaltlich einmal im Zusammenhange. Von Wichtigkeit ist sie deshalb für uns, weil hier eine Reihe von Vergleichen textlich und bildlich angestellt sind, und zwar sind das Licht, der Schall, der Magnetismus und der Geruch herangezogen. Wenn hier auch nicht direkt von den Wellen der einzelnen Materien die Rede ist, wie es ja sonst sehr häufig an anderen Stellen zu finden ist, so können wir immerhin annehmen, daß er an die Wellen denkt.

Er spricht hier von: 1. Die Lichtstrahlen durchdringen nur durchsichtige Körper. 2. Eine beleuchtete Linie (sc. Fläche) dringt durch eine Öffnung in einen dunklen Raum und wird dabei umgekehrt. 3. Dringt von jeder Seite eines dunklen Raumes durch je eine Öffnung Licht hindurch, so stören sich die Strahlen nicht gegenseitig, was man erkennen kann, wenn man farbige Gläser vor die Öffnungen setzt. 4. Der Schlag (sc. die durch diesen erzeugten Schallwellen) dringt durch die Wand. 5. Befindet sich ein Loch in der Wand, so geht der Schall durch dieses, aber er zerteilt sich in viele Linien, von denen jede schwächer wird. (Hier soll wohl gezeigt werden, daß die Schallwellen um einen Gegenstand herumgehen können!) 6. Der Schall wird reflektiert, vergleiche das Echo. 7. Die Wirkung des Magnets und die des Eisens geht durch die Wand hindurch, und ist eins von ihnen schwerer und das

---

Wie die Basis x o, die vom Punkte p erleuchtet wird, eine Pyramide erzeugt, die im Punkte c endigt und dadurch eine andere Grundlinie r S [sic] schafft und das untere oben empfängt, d. h. was in x o ist.

Wie der Punkt die Ursache der Basis ist, und setze ein farbiges Glas vor jedes Licht, und du wirst die Basis in jenem gefärbt sehen.

Wie die Linien des Schlages [d. i. „Schalles"] jede Wand durchdringen.

Wie ein Loch zu finden ist, wo viele Linien entstehen, von denen jede schwächer ist wie die erste a b.

Die Stimme des Echos.

Wie die Linien des Magnets und jene des Eisens die Wand durchdringen, aber das, was leichter ist, vom Schwereren angezogen wird.

Wenn sie von gleichem Gewicht sind, ziehen sich der Magnet und das Eisen in einer [gleichen] Weise an [sehr interessant!].

Der Geruch tut dasselbe wie der Schlag" (vergl. hierzu Wiedemann, Beitrag II, S. 324).

andere leichter, so zieht das erstere das letztere an[1]). 8. Sind beide gleich, so ziehen sie sich in gleicher Weise an. 9. Der Geruch verhält sich wie der Schlag (also der Schall).

Auf die Einzelheiten dieser Stelle ist jedesmal bei den betreffenden Materien näher eingegangen.

5. Kapitel.

Katoptrik.

a) Reflexion an ebenen Flächen.

Ebenso wie in anderen Gebieten sind die Ausführungen (Zeichnungen und Aussprüche) über die Probleme der Reflexion überall in Leonardos Werken zerstreut. Selten ist einmal eine halbe oder ganze Seite ausschließlich mit hierher gehörigen Angaben und Darstellungen ausgefüllt. Ja sogar im Manuskript D, das bekanntlich ganz der Optik, besonders dem Auge, gewidmet ist, findet man keine zusammenhängenden Aussprüche.

Bei dem Suchen nach Angaben über die Reflexion glaubt man oft, Hohlspiegel und die Konstruktion des entstehenden Bildes vor sich zu haben. Man findet aber dann bei genauerem Studium, daß es sich entweder um Kreise mit Einteilungen oder auch um Phantasiegebilde handelt.

Die Theorie der Reflexion ist von Leonardo kaum gestreift worden, ein tieferes Eingehen erschien ihm wohl auch nicht nötig, da er ja die ausführlichen Entwicklungen z. B. von Euklid, Ibn al Haiṯam und Vitello vor sich hatte.

Den Fundamentalsatz der Reflexion spricht er fast mit den auch noch jetzt üblichen Worten aus, indem er sagt, daß „der Einfallswinkel stets gleich dem Reflexionswinkel ist"[2]).

Ob Leonardo da Vinci unsern „Einfallswinkel" zwischen Lot und Strahl oder den Winkel zwischen reflektierender Fläche und Strahl mit „angolo della incidentia" bezeichnet, ist nicht zu bestimmen.

---

[1]) Dies ist schon von Geber beobachtet worden, vgl. Wiedemann, Beitrag II, 1904, S. 324.

[2]) M.-D, fol. 9v: „langholo della incidentia essenpre equale allangholo della refressione." (Ohne Figur.)

„Der Winkel des Einfalls ist stets gleich dem Winkel der Reflexion."

Woher Leonardo sein Wissen über das Reflexionsgesetz hat, geben die vor diesem Ausspruch stehenden Worte an, und diese sagen uns, daß sie aus der „Neunten der Perspektive“ stammen[1]).

Ein Vergleich zeigt, daß es sich um Euklids Katoptrik. Prop. IX[2]) handelt, eine Stelle, an der von der Reflexion eines Strahles an Planspiegeln die Rede ist, ohne daß aber Leonardos Worte genau in ihr enthalten sind.

Der Beweis, den Euklid für das Reflexionsgesetz gibt[3]), ist nirgends in Leonardos Schriften zu finden.

Jedoch ist aus einzelnen Aussprüchen zu erkennen, daß sich Leonardo etwas eingehender mit der Lehre von der Reflexion beschäftigen wollte und zwar mit Rücksicht darauf, daß das reflektierte Licht schwächer ist als das einfallende. Dies war bereits von Ibn al Haiṯam[4]) ausgesprochen und auch von Roger Baco[5]). Ersterer sagt an der genannten Stelle, daß das reflektierte Licht nicht allein wegen seiner Entfernung (propter elongationem) von der Lichtquelle, sondern auch wegen seiner Verbreitung (propter disgregationem) über eine Fläche geschwächt würde.

Nun sind aber sämtliche Stellen[6]), an denen in Leonardos Schriften von den geschwächten reflektierten Strahlen die Rede ist, derartig unklar, daß man nicht ersehen kann, ob Leonardo diese Erkenntnis auch erfaßt hat. Mir scheint, daß dies nicht der Fall ist. Leonardo spricht z. B. davon, daß die reflektierte

---

[1]) M.-D, fol. 9v: „malla prova vera simostra per lanona di prespectiva dove dicie . . .“ (Ohne Figur.)

„Aber der wahre Beweis zeigt sich durch die Neunte der Perspektive, wo man sagt . . .“

[2]) Vergl. Gregorii Euclidis quae supersunt omnia, Oxford, 1703, S. 651; und Heiberg, Euclidis opera omnia, Leipzig, 1895, S. 301.

[3]) Vergl. Euklids Katoptrik, prop. 1 (Gregorii, S. 646; Heiberg, S. 289), wonach vom Objekte und vom Auge Lote auf den Spiegel gezogen und so mit den beiden Strahlen Dreiecke gebildet werden, die ähnlich sind. Aus dieser Ähnlichkeit folgt dann die Gleichheit der beiden Winkel

[4]) Vergl. hierzu Risners Alhazen, liber IIII (S. 111).

[5]) Vergl. Vogl, Roger Baco, S. 64.

[6]) M.-C, fol. 4r; M.-I, fol. 43v; M.-L, fol. 42r u. v.

Bewegung um so schwächer sei, je kürzer sie ist, während dies in Wirklichkeit doch anders ist[1]).

Erwähnenswert ist nun eine Stelle[2]), an der er ganz allgemein von der Reflexion spricht. Hiernach ist für jede Sache von dichterer Oberfläche (also für jede Sache von dichterer Beschaffenheit) die Reflexionslinie gleich der Einfallslinie. Nach der beistehenden Figur 62 denkt Leonardo an folgenden Versuch: Aus einem trichterförmigen Gefäß fällt eine Flüssigkeit (oder vielleicht Sand, kleine Kugeln oder dergl.) auf ein anderes Gefäß, das entweder zylindrisch oder hohlkugelartig ist. Hier werden die einzelnen fallenden Teile zurückgeworfen und zwar unter demselben Winkel, in dem sie aufprallen. (Die Figur zeigt auch die Konstruktion der Reflexionslinien rechts und links vom Aufprall!)

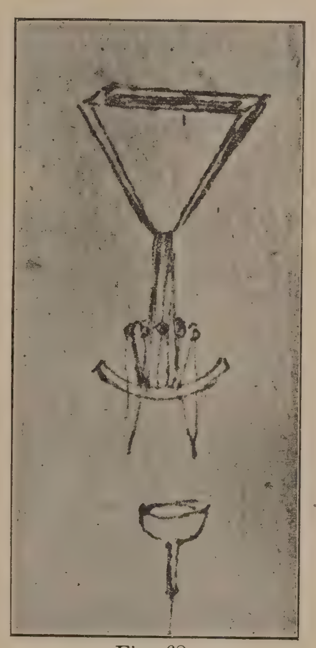


Fig. 62.

Vergleiche zwischen der Reflexion der Strahlen des Lichtes mit denjenigen des Schalles finden wir an mehreren Stellen. So spricht er z. B. von der Reflexion der Stimme, die sich wie eine im Spiegel gesehene Sache verhält[3]) (siehe auch

---

[1]) M.-L, fol. 42 v: „Ilmoto reflesso sara tanto piv debole quanto esso fia piv corto.“ (Ohne Figur.)

„Die reflektierte Bewegung wird um so schwächer sein, als sie kürzer ist.“

[2]) M.-C, fol. 22 v: „Ogni. chosa di denza. superfitie. che chadera. sopra. resistente. obbietto. la linia. delsuo. risalta mento. fia. ditale obli quita. qualle fu lalinia. della. incidentia.“ (Fig. 62.)

„Für jede Sache von dichter Oberfläche, die auf einen widerstehenden Gegenstand fällt, wird die Linie des Rücksprunges [-pralles] von einer solchen Geneigtheit sein, wie es die Linie des Einfalles gewesen ist.“

[3]) M.-A, fol. 19 v: „effa questa. voce assimilitudine. duna chosa. veduta. nelospechio.“ (Ohne Figur.)

„Diese Stimme macht es wie eine im Spiegel gesehene Sache.“

die betreffende Stelle in dem entsprechenden Teile der Akustik!), und davon, daß, wie die Bilder von der Sache in den Spiegel und vom Spiegel in das Auge in gleichen Winkeln fallen, ebenso die Stimme in gleichen Winkeln auftreffen und zum Ohre zurückgeht in der Konkavität des ersten Auftreffens[1]).

Von einem wirklichen Apparate zum Beweise des Reflexionsgesetzes ist nirgends die Rede und findet sich auch keine diesbezügliche Abbildung hierzu.

Sehr häufig sieht man die schematischen Figuren, die Euklid,

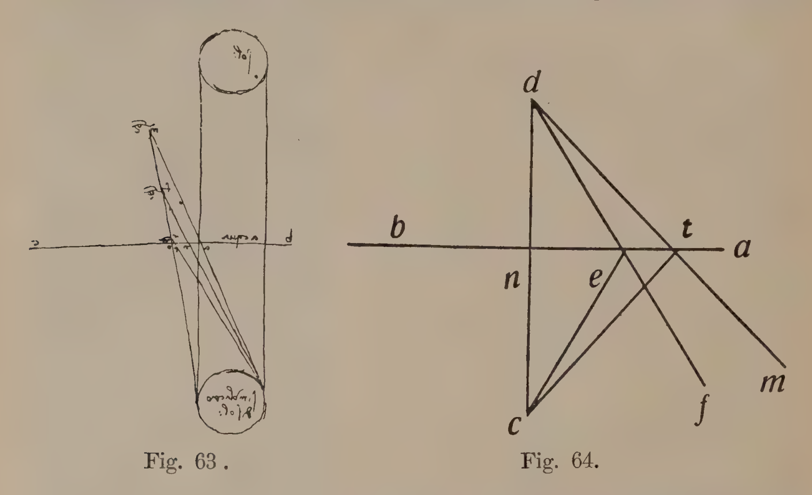


Fig. 63. Fig. 64.

Ibn al Haitam, Vitello und Peckham in ihren Abhandlungen über die Reflexion bei ebenen Spiegeln bringen (siehe z. B. Fig. 63). Meist gibt Leonardo gar keinen Text dazu oder nur eine kurze Bemerkung, z. B. auf der eben angeführten Stelle, wo die Worte „sole, acqua uud simulacro di soli" stehen, oder ferner im M.-A, fol. 19v[2]), wo er sagt, daß ein vor einem Spiegel

[1]) M.-C, fol. 16r: „essichome. lesimilitudine. chadente dallacosa. allo spechio edda osspechio. allochio. infraequali. angoli. Cosi infraequali. ango li. chadera. erisaltera. lauoce nellachoncavita. dalla prima perchu sione. allorechio." (Siehe deutschen Text und Figur bei Akustik, S. 157.)

[2]) M.-A, fol. 19v: „cioe diciamo. chelosspechio. sia. a b ella cosa spechiata. sia. in c. sichome. c. vede. tutte. leparti. dello. spechio costitutte. leparte dello. spechio. vegano. c. adunque. c. ettutto intutto lospechio percheglie intutte lesua. parti. edetutto. inellaparte perchessi vede intante varie. parti. quanto. sono. vari. isiti. deveditori cioe. sela cosa c. e in. n. ella. pare tanto.

befindlicher Gegenstand sowohl den ganzen Spiegel sieht als auch von dem Spiegel in allen seinen Teilen gesehen wird. Leonardo konstruiert hierbei den Punkt (siehe Fig. 64), in dem ein anderer Gegenstand den ersten sieht, nämlich in dem Punkte des Spiegels, der auf dem Schnittpunkte der

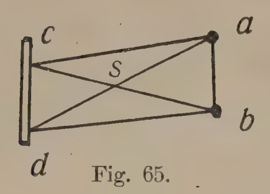


Fig. 65.

Spiegelfläche mit der Geraden liegt, die vom zweiten Gegenstande nach dem Spiegelbilde gezogen wird.

Eine der wenigen genaueren Angaben über die Reflexion finden wir in einer Erörterung der Spiegelung eines Gesichtes in einem Spiegel[1]).

den tro. quanto. ella e fori. adunque. c siuedera in. d. Ecquello cheffia. in. f vedendo lacosa. d. lauede perlinia. retta. adunque. lacosa d. insulla. parte. dello spechio. e. e chifia. in m. vedera la costa [cosa] d. in t.“ (Fig. 64.)

„So sagen wir, daß der Spiegel a b sei, daß die gesehene Sache c sei, ebenso wie c alle Teile des Spiegels sieht, ebenso sehen alle Teile des Spiegels c; daher, c ist ganz im ganzen Spiegel, weil es in allen seinen Teilen ist; es ist ganz in dem Teile, weil man es in ebensoviel verschiedenen Teilen sieht, als es verschiedene Stellungen von Zuschauern gibt, d. h. daß, wenn die Sache c in n ist, erscheint sie in dem Maße im Innern, als sie außerhalb ist, c wird man also in d sehen; und derjenige, der sich in f befindet, sieht sie, indem er die Sache d sieht in gerader Linie, also die Sache d auf dem Spiegelteile e, und wer sich in m befindet, wird die Sache d in t sehen.“

[1]) M.-D, fol. 4r: „Il simulacro dogni obbietto siscanbia nello spechio colla sua parte destra ariscontro alla sinistra dellobietto chessispechia essimilmente lasinistra nella desstra-provasi essere pernecesita perche ogni actione naturale effatta daessa natura nelpiu brieue modo ettenpo sia possibile Sia a b vno volto chemanda ilsuo simulacro nello spechio c d ecquesto volto ara vnaltro volto inesso spechio volto allui cheara lochio stancho c ariscontro aldestro a esimilmente lochio destro d fia ariscontro dellochio stancho b Esse perlaversario sidicessi chellochio destro delsimulacro fussi ariscontro aldesstro dellobbietto noi produrrem lelinie daldestro delsimulacro aldestro dellobietto ecosi dalsinisstro alsinistro lequali linie sono a d he c d lequale siuedano intersegate edeprovato dittutte lelinie intersegate senpre lostremo destro ... destro delluna alsuo oposito stremo nelsinistro lato dellaltra ettale effetto none fatto perla linia breuissima perche senpre epiulungo ildiametro dunquadrata che

Das linke und auch das rechte Auge scheinen vertauscht zu sein, als wenn sich das Gesicht eines anderen Menschen dem hineinschauenden zugewandt habe.

Nicht uninteressant ist hierbei sein Ausspruch, daß jede natürliche Aktion in der Natur in kürzester Weise und in möglich kürzester Zeit ausgeführt wird.

Ebenso anschaulich ist eine weitere Angabe als Spiegelung, bei der von zwei Menschen die Rede ist, die ihre Bilder in einem Spiegel erblicken. Berührt der erste Mensch mit dem Finger das Bild eines Auges des zweiten Menschen, so glaubt der erste, daß der Finger auf dem Bilde des Auges des zweiten Menschen aufruht[1]).

---

none lasua costa ecqui a d ediamitro delquadrato a b c d delquale a c evna delle sue costi checosi econcluso li [?] quel chera necesario alla prova ditale effetto. Ecquesto tale effetto nello spechio eglie come un chettiriguadassi coe vnche alochio sinistro ariscontro altuo destro ilquale permiraculo sifacessi disinisstro indesstro) come fan lelettere chessistanpisscano ella cere inprontata nella corniola“ — (Fig. 65.)

„Bei dem Bilde eines jeden Gegenstandes findet eine solche Vertauschung statt, daß im Spiegel die linke Seite des Gegenstandes, der sich spiegelt, der rechten gegenübersteht und ähnlich die rechte der linken; man beweist, daß dies so notwendig ist, weil jede natürliche Aktion durch die Natur in kürzester Weise und in kürzester Zeit, die möglich ist, ausgeführt wird. Es sei a b ein Angesicht, das sein Bild in den Spiegel c d sendet; dieses Gesicht wird in diesem Spiegel ein anderes sich zugewendetes haben, das das linke Auge c gegenüber dem rechten Auge a haben wird und in gleicher Weise das rechte Auge d gegenüber dem linken Auge b. Und wenn man umgekehrt sagte, daß das rechte Auge des Bildes dem rechten des Gegenstandes gegenüber ist, so würden wir die Linien des rechten Auges des Bildes zum rechten des Gegenstandes führen und ebenso die des linken zum linken. Diese Linien sind a d und c d [b c], die man sich schneiden sieht; und es wird bewiesen, daß von allen geschnittenen Linien stets die äußere Rechte ihre äußere entgegengesetzte auf der linken Seite der anderen hat. Und: Eine solche Wirkung wird nicht durch die kürzeste Linie hervorgerufen, da stets der Durchmesser eines Vierecks größer ist als eine Seite, und hier ist a d der Durchmesser des Vierecks a b c d, von dem a c eine seiner Seiten ist. So ist hier geschlossen, was zum Beweise einer solchen Wirkung notwendig war. Und diese derartige Wirkung im Spiegel ist eine solche, als ob dich jemand betrachtete, d. h. jemand, dessen linkes Auge deinem rechten gegenüber sich befindet, das gleichsam durch ein Wunder sich aus einem rechten in ein linkes verwandelt hat, wie es die Buchstaben [Lettern] machen, die sich in das Wachs abdrucken, das in den Karneol hineingedrückt wird.“

[1]) C.-A., fol. 141 r—b: „Nessuno omo vedrà la similitudine dell' altr' omo

Stellt er zwei Spiegel genau parallel gegeneinander auf, so sagt er, daß die dazwischen stehende Figur sich unendlich, oft sieht und die Bilder immer kleiner werden[1]. Diese Ansicht ist nicht ganz richtig, weil man sich selbst nur je einmal sieht und die übrigen Bilder von sich verdeckt. Nur gleichzeitig gespiegelte andere Gegenstände sieht man unendlich oft.

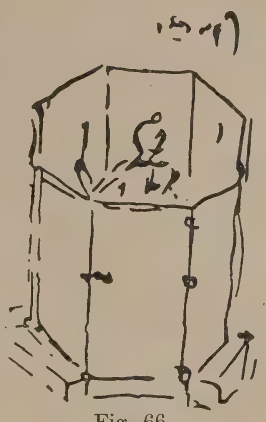


Fig. 66.

An einer anderen Stelle spricht er davon, daß, wenn man vier Spiegel im Quadrate oder acht Spiegel im Achtecke aufstellt (Fig. 66), man sich von allen Seiten unendlich oft sehen könne[2].

---

sopra lo spechio nel proprio loco. dove si riferiscie, perchè ciascuno obietto cáde sopra lo spechio ĩfra equali angoli, e se l' omo, che vede l' altro nello spechio, non è posto colla linia delle spetie, no lo vedrà nel loco dove cade, e s' egli entra nelle linie, egli occupe l' altr' omo e mette. se medesimo sopra la sua similitudine: n o sia lo spechio. b. sia l' ochio dell' amico tuo. d. suo il tuo ochio; l' ochio del tuo amico ti pare in a : e all' amico par che'l tuo sia in c e la ĩtersegatione della linee visuali. si fa in. m. e qualũque tocca in m. toccherà l' ochio dell' altro omo che fia aperto; Se toccherai l' ochio dell' altr' omo sopra lo spechio parrà al' altro che tocchi il tuo.“ (Ohne Figur.)

„Kein Mensch [I] kann das Bild [similitudine] eines anderen Menschen [II] in einem Spiegel auf genau dem Platze sehen, auf den es von dem Menschen [II] bezogen wird. Weil jeder Gegenstand auf den Spiegel in gleichen Winkeln fällt. Und wenn der Mensch [II], der den anderen [I] im Spiegel sieht, nicht in der Linie mit dem Bilde steht [auf der Linie zwischen dem Menschen [II] und dem Bild], wird er es nicht auf der Stelle sehen, auf die es fiel. Und wenn er in die Linie eintritt, bedeckt er den anderen Menschen und stellt sich selbst auf sein Bild. Es sei n o der Spiegel, b das Auge deines Freundes und d dein Auge. Deines Freundes Auge wird dir in a erscheinen, und ihm wird es scheinen, als ob dein Auge in c ist, und der Schnittpunkt der Sehlinien wird bei m sein, so daß ein jeder, der m berührt, das Auge des anderen Menschen berühren wird, das geöffnet sei. Wenn du das Auge des anderen Menschen im Spiegel berührst, wird dem anderen scheinen, als ob du dein eigenes berührst.“

[1]) C.-A., fol. 138 r—b. (Ohne Figur.)

[2]) M.-B, fol. 28r: „equelome chesitrovera potrassi vedere perogni verso infinite volte sesaranno 4 spechi posti in quadro anchora fieno bonj . . .“ (Fig. 66.)

Es sei hier noch eine recht dunkle Stelle aus dem Codex Atlanticus angeführt, an der Leonardo die Entfernung des Gegenstandes vom Spiegel und die des entstehenden Bildes vom Spiegel in Betracht zieht. Er nimmt dort einen durchsichtigen Kristall an, vor dem ein Gegenstand steht. Befindet sich nun auf der Vorderseite des Kristalles ein Punkt, so wird dieser von dem eben genannten Gegenstande erblickt, als wenn der Punkt auf einer zu den parallelen Seiten des Kristalles senkrechten Linie in der doppelten Entfernung dieser Linie liegt[1]).

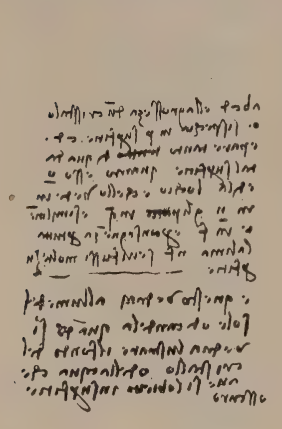




Fig. 67.

Der Ausspruch selbst ist nicht ganz klar, aber wir können daraus entnehmen, daß er die Entfernung des Gegenstandes von der spiegelnden Oberfläche und die Entfernung der letzteren vom scheinbaren Bilde als gleich annimmt.

Nun muß aber hier auf einen Fehler hingewiesen werden, den Leonardo dadurch begeht, daß er den Einfalls- und Reflexionswinkel innerhalb eines Kristalles zeichnet und bespricht. Er denkt aber nicht daran, daß der aus dem Kristalle (also dem dichteren Medium) heraustretende Strahl einen anderen Weg macht, als er ihn darstellt. (Vergl. hierzu S. 139 der

„Der Mensch, der sich hierin befindet, wird sich von allen Seiten unendliche Male sehen. Wenn dies vier Spiegel sind, die man im Quadrat aufstellt, vorausgesetzt daß sie gut sind. . . .“

[1]) C.-A, fol. 124 r—a: „a b c d è la grossezza d' un cristallo; o si specchia in p superfizie; c d e pare tanto di qua da tal superfizie, quanto esso o è di là; l' occhio e, che lo vede in n, gli pare in q, e similmente in f, e per conseguenza, per tutta la linia n f, se vi fussi molte superfizie.“ (Fig. 67.)

„a b c d ist die Größe eines Kristalles; c spiegelt sich in der Oberfläche bei p; c d e erscheint ebenso weit von hier bis zu jener Oberfläche, wie jenes o von dort ist; das Auge e, das ihn [o] in n sieht, doch erscheint dies [o] in q, und gleicherweise in f, e, auf der ganzen Linie n f, [als] wenn dort viele Flächen wären.“

vorliegenden Arbeit, wo von den Kenntnissen Leonardos über die Brechung des Lichtes die Rede ist.)

Das vorstehende Beispiel ist wiederum für uns ein Beweis, daß Leonardo nicht tiefer in physikalische Probleme eingedrungen ist. Denn wenn er die Resultate seiner Vorgänger wie Euklid, Alhazen und Roger Baco voll erfaßt hätte, würde er nicht derartige Fehler begehen, zumal Fehler solcher Art nicht bei seinen Vorgängern zu finden sind. Scheinbar liegen in solchen Fällen eigene Versuche und Gedanken Leonardos vor, die jedoch im Gegensatz zu seinen Vorgängern nicht zu richtigen Resultaten geführt haben.

Wie schon oben bemerkt, hat Leonardo die Abbildungen und Aussprüche in diesem Kapitel, speziell die Ausführung der Reflexion und der Konstruktion des Spiegelpunktes nebst den Figuren von seinen Vorgängern übernommen, und es seien noch im einzelnen angeführt, z. B. Euklid (vergl. das kurz vorher zitierte Werk von Gregorii), S. 656, und Heiberg, Euclidis opera o., Leipzig, 1895, S. 348 ff., ferner das schon genannte Werk von Alhazen, S. 133 ff. (Prop. V, 9—15 des Alhazen), sowie S. 213 ff. (Prop. V, 51 des Vitello).

Auch die Erscheinungen bei parallel gestellten Spiegeln oder einer Anzahl von Spiegeln hat Leonardo bei seinen Vorgängern gefunden und sich Notizen davon gemacht, denn wir finden sie bei Euklid, in dem Risnerschen Alhazen und Vitello (S. 256 bezw. S. 217. An letzterer Stelle ist auch auf Ptolemäus hingewiesen).

b) Reflexion an gekrümmten Flächen.

Recht zahlreich sind die Abbildungen und Erläuterungen, die die Reflexion an gekrümmten Flächen betreffen, zahlreicher als die oben behandelten an ebenen.

Zuerst sei auf eine Stelle[1]) hingewiesen, an der Leonardo

[1]) M.-F, fol. 76 r: „Cressce ilsimulacro delsole nello spechio conuesso neldiscostarsi daesso spechio emancha neldiscostarsi dallui ilcorpo solare.

Nello spechio concauo il simulacro del sole Neldisscostarsi ilsole datale spechio ecquesto eca vsata perche.“ (Ohne Figur.)

„Das Bild der Sonne im konvexen Spiegel nimmt zu, indem es sich vom Spiegel entfernt, und der Sonnenkörper verschwindet, indem er sich entfernt.

beide Arten von gekrümmten, konkaven und konvexen Spiegeln vergleicht und sozusagen eine theoretische Betrachtung gibt (siehe hierzu Fig. 68). Von dem erstgenannten Spiegel sagt er, daß das Bild der Sonne zunimmt, wenn es sich vom Spiegel entfernt. Dasselbe Experiment will er alsdann mit dem konkaven Spiegel anstellen, aber leider sind seine Worte derart verstümmelt, daß man nichts über das genannte Experiment erfährt.

Im ersten Satze dieses Ausspruches ist offenbar ein Schreib-

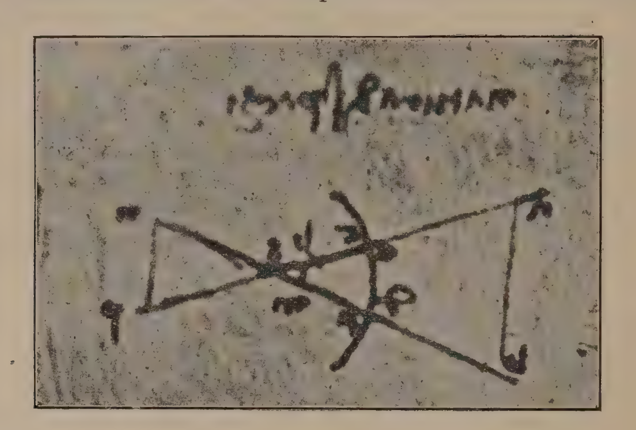


Fig. 68.

fehler Leonardos anzunehmen, es muß heißen: „sich nicht entfernt."

Wenn auch diese Angaben nicht ganz klar sind, so ist wohl die Annahme gestattet, daß Leonardo hier einen Vergleich anstellen wollte. In ausgiebiger Weise findet sich dieser an anderen Stellen.

Er führt z. B. an einer Stelle[1]) aus, daß, wenn man eine

Im konkaven Spiegel . . . das der Sonne, wenn sich die Sonne vom Spiegel entfernt und dies wird verursacht, weil . . ."

[1]) M.-B, fol. 6 v: „se antiporai. lalinia. a. b dinanzi alo spechio. cholmo perche lelinie delle similitudine antiposte sidirizano alsuocientro diminvira. a. b. quanto c. d essepora lalinia. h. m. dinanzi alo. spechio. conuesso lespetie vanno aesso spechio perle linie partite delsuo cientro lalinia. h. m. cresciera quanto. e. f. esse lacosa posta dinanzi alospechio fia dila dalsuo cientro g. comelalinia. n. p. sara detta linia porata [portata] alo spechio nelocho e f. sotto

vor einen Konvexspiegel gestellte Linie in Betracht zieht, so wird sich diese Linie [scheinbar] verkleinern. Dahingegen wird eine vor einen Konkavspiegel gestellte Linie an Größe zunehmen.

Die Betrachtung ist eine recht wenig strenge und zeigt, daß Leonardo von der wahren Lage der Bilder keine wirkliche Vorstellung hatte, indem er sie auf die Oberfläche der Spiegel verlegt. (Aber der letzte Satz muß uns auffallen, da hier ein an sich wahrer Ausspruch zu finden ist, daß nämlich die „Spezies“ gezwungen wird, stets in geraden Linien zu gehen).

Leonardo behandelt auch die beiden Spiegelarten einzeln:

1. Der Konvexspiegel.

Hier wären besonders zwei Stellen hervorzuheben, aus denen zu erkennen ist, daß Leonardo die Konstruktion einzelner Strahlen und die Lage gespiegelter Punkte gekannt hat.

Als das wichtigste Hilfsmittel zur Bestimmung der Reflexionslinie gibt er an der ersten Stelle an, „den Radius von dem Punkte, der von dem einfallenden Strahle getroffen wird, zu konstruieren und dann von diesem Punkte eine Linie auf der anderen Seite dieses Radius unter demselben Winkel zu ziehen [1].“

---

sopra inperoche sendo lespetie chostrette acaminare perlinie rette. n. he portata dala sua linia. in f. ecosi p. sitrasfercie in. e.“ (Fig. 68, woselbst die Worte stehen: „Natura dispechi“.)

„Wenn du die Linie a b vor den Konvexspiegel stellst, wird sich, weil die Linien der so gestellten Bilder nach dem Zentrum des Spiegels hingehen, a b verkleinern, wie es c d zeigt, und wenn du die Linie h m vor die hohle Seite des Konvexspiegels stellst, gehen die Spezies zu diesem Spiegel durch Linien, die aus seinem Zentrum entstehen, derart, daß die Linie h m wachsen wird, wie es e f zeigt; und wenn die vor die Höhlung des Spiegels gestellte Sache sich in der Mitte [?] seines Zentrums g befindet, wie es die Linie n p zeigt, so wird diese Linie auf dem Spiegel an die Stelle e f im umgekehrten Sinne gebracht werden; in der Tat, indem die Spezies gezwungen werden, in geraden Linien vorwärts zu gehen, wird n auf seiner Linie nach f gebracht und ebenso bewegt sich p nach e.“

[1]) M.-G, fol. 71 v: „Per dlrizare [sic!] langholo e [o] alsuo proposito piglia lalinia inci dente c o ella refressa o e ecque sta notitia arai mediante lacien trale n m che esegniata in punto m essella incidente passa per i lforo o eper

Ist dagegen der Standpunkt des Auges und der des leuchtenden Körpers gegeben, so ist es nach seiner Ansicht

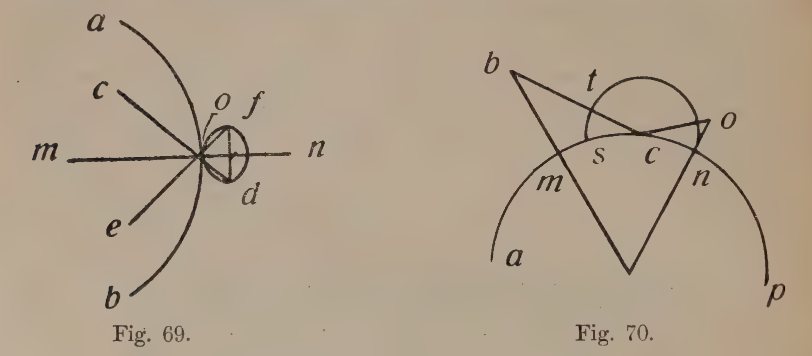


Fig. 69. Fig. 70.

„nicht möglich, auf dem Konvexspiegel den Spiegelpunkt zu finden“[1]). (Siehe Fig. 70.)

---

chote nel cierchio inpunto d poni lochio dallo pposita parte delcier chio in punto f eghuarda in e es sidirizza laincidente c o colla refress o e cioe nel punto o.“ (Fig. 69.)

„Um den Winkel e [o] entsprechend seiner Bestimmung zu errichten, nimm die einfallende Linie c o und die reflektierte o e. Du wirst diese Kenntnis durch die Zentrale n m haben, die im Punkte m bezeichnet ist; und wenn die einfallende Linie durch das Loch o geht und auf den Kreis stößt im Punkte d [in dem Kreise auftrifft in dem Punkte d], stelle das Auge auf der entgegengesetzten Seite des Kreises, d. h. im Punkt f, ein, und betrachte in e; dort richtet der Einfallende c o mit dem Reflektierten o e auf, d. h. auf dem Punkte o.“

[1]) M.-F, fol. 10v: „Dato p q c spechio conuesso edato b lu minoso he c ochio chedebbe uedere tal luminoso sopra losspechio dico essere inpossibile adare rego la generale atrouare ilsimulacro ditale lume sopra detto spechio concosia cheancora chellian goli chemettano inmezo tale angolo della contingentia sieno equali enonsaranno mai lilati nella basa di tali angoli inproportione regulare luno allal tro come sono lilati dellalaltro oposito ancolo perche sebenche langolo o c n sia equale allan golo t c s labasa delluno nonsara inne la medesima proportione colsuo lato retto quale labasa dellaltro chol suo lato retto essimilmente interuiene chella to curuo delluno no sara nella medesima proportione col suo lato retto qua le ilato curvo dellaltro ngolo colato suo retto ecosi ogni parte fia discordante perchausa dellor lato curvo chessegli fussi retto ogni parte sarebbe corrispondente luna allaltra“ (Fig. 70. Bei dieser Figur muß statt „a“ der Buchstabe „q“ stehen. D. V.)

„Gegeben sei p q c [p c q], ein Konvexspiegel, und gegeben sei b, ein leuchtender Gegenstand, und c [o], Auge, das diesen leuchtenden Gegenstand auf

(Die gleiche Aufgabe bei einem ebenen Spiegel weiß er wohl zu lösen. Diese einfache Lösung gibt er an derselben Stelle)[1].

Es sei gleich hier bemerkt, daß Ibn al Haitam diese Aufgabe[2] (d. h. bei konvexen Spiegeln) zu lösen versucht hat, ohne aber die Lösung vollkommen geben zu können[3]. Ebensowenig hat sie ja auch Leonardo zu lösen verstanden. Er hat die Aufgaben also auch von seinen Vorgängern übernommen.

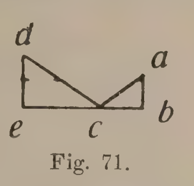


Fig. 71.

An einer anderen Stelle spricht er von den Sehlinien, Sonnenstrahlen u. s. w., die ebensogut von der Basis erzeugt sein können, wobei sie am Ende der Pyramide endigen, wie auch in der Pyramide selbst, um dann an der Basis zu endigen[4]. (Siehe Fig. 72.)

---

dem Spiegel sehen soll; ich sage, daß es unmöglich ist, eine allgemeine Regel zu geben, um das Bild dieses Lichtes zu finden auf dem genannten Spiegel, weil, obgleich die Winkel, die diesen Winkel der Berührung umfassen, gleich sind, die Seiten dieser Winkel niemals an ihrer Basis einer zum andern im gleichen Verhältnis sein werden, wie es die Seiten des anderen entgegengesetzten Winkels sind; weil obgleich der Winkel o c n gleich dem Winkel t c s ist, so ist die Basis des einen nicht im gleichen Verhältniss mit einer geradlinigen Seite wie die Basis der anderen mit seiner geradlinigen Seite, und ebenso geschieht es, daß die gekrümmte Seite des einen nicht in dem gleichen Verhältnis mit seiner geradlinigen Seite sein wird, wie die gekrümmte Seite des anderen Winkels es mit seiner geradlinigen Seite ist; und sind alle Teile in Uneinigkeit wegen ihrer gekrümmten Seite; jedoch wenn sie geradlinig wären, dann würde der eine Teil dem andern entsprechen."

[1]) M.-F, fol. 10v: „Vedi come li 2 triangoli a b c he d e c son proportionati perauere tutti loro lati retti chettu tti ilati delmago res son dopli lati dell minore." (Fig. 71.)

„Sieh, wie die beiden Dreiecke a b c und d e c im Verhältnis sind, weil sie gerade Seiten haben; alle Seiten des größeren sind doppelte Seiten des kleineren."

[2]) Vergl. Risners Opt. Thesaurus u. s. w., Basel, 1572, S. 134—143.

[3]) Vergl. Schnaase, Die Optik Alhazens, Pr. Stargard, 1889, S. XII.

[4]) C.-A., fol. 353v—b: „E chiara mente si può con isperienza dimostrare che le linie visuali, e razzi solari, e ogni linia partita di qualunque luogo sia, esser così generata dalla basa e terminata nella fine della piramide, come generata nella piramide e terminata nelle lor base." (Fig. 72.)

„Man kann offenbar durch den Versuch zeigen, daß die Sehlinien, die

Es liegt hier wohl schon die Anschauung vor, daß man Bild und Gegenstand vertauschen kann.

2. Der sphärische Hohlspiegel.

Dem oben Angeführten ist nur noch hinzuzufügen, daß Abbildungen von Hohlspiegeln und ihrem Strahlengange unter den mannigfachsten Bedingungen in Leonardos Werken zu finden sind, nach denen vom Hebel wohl die meisten [1]).

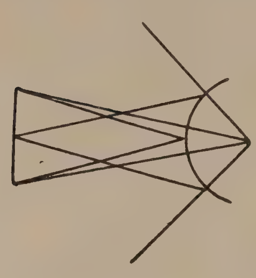


Fig. 72.

Von Wichtigkeit ist, daß er bereits wußte, daß parallel in einen größeren sphärischen Hohlspiegel einfallende Strahlen nicht zu einem Punkte, sondern zu einer Kurve, der jetzt als katakaustischen bezeichneten, vereinigt werden [2]).

Die Tatsache, daß eine longitudinale Aberration bei diesen Spiegeln vorhanden ist, war übrigens schon lange bekannt, wie am Schlusse dieses Kapitels nachgewiesen wird.

Werden Sonnenstrahlen aufgefangen, und befestigt man im Brennpunkte des sphärischen Hohlspiegels eine leicht entzündliche Masse, so wird diese entzündet [3]).

Sonnenstrahlen und jede Linie, die von einem beliebigen Punkt ausgeht, ebensowohl von der Basis erzeugt sein kann, um an dem Ende der Pyramide zu endigen, als auch in der Pyramide erzeugt sein kann, um an der Basis zu endigen.“

[1]) Es seien beispielsweise einige Stellen genannt: C.-A., fol. 88r—b, v—b; 131v—b; 301r—c; 353v—b. M.-A, fol. 20r. M.-F, fol. 85v, u. s. f.

[2]) C.-A., fol. 347r—a, und Br.-M., fol. 87r u. v.

[3]) C.-A., fol. 277r—a; „a b c d, incidente, refrette in c d o, e puoi fare la basa della piramide colle date regole 4 braccia, e la lunghezza della piramide c d e 4 miglia; e, per risolvere la cosa posta in e, fa che 'l suo sostentaculo entri per il fondo vel vaso ignio, cioè per il foro n, e il suo sostentaculo sia in n e, e così stando, tal cosa sarà vestita intorno dalla potenzia di tutti li ratti refressi.“

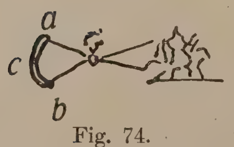


Fig. 74.

Weitere Stellen sind: M.-A, fol. 20r u. 55r; M.-F, fol. 85v und M.-G, fol. 34r. An der vorletzt genannten Stelle ist die kleine Zeichnung Fig. 74. Im beistehenden Texte heißt es ebenfalls, daß die Hitze im Brennpunkte größer sei als in der Flamme selbst (was aber nicht richtig ist. D. V.).

Die hier zugehörige Stelle, C.-A., fol. 277 r—a (Fig. 73), ist leider nicht recht verständlich, da sie eigenartige Angaben inbezug auf die Maße aufweist.

Außer den Sonnenstrahlen werden an einigen weiteren Stellen solche von großen Flammen benutzt, die nach der Reflexion und der Vereiniguug im Brennpunkte die zu entzündende Masse in Brand setzen. Auch spricht Leonardo zuweilen davon, daß durch die Konzentration der Strahlen im Brennpunkte eine verhältnismäßig stärkere Hitze erzeugt wird.

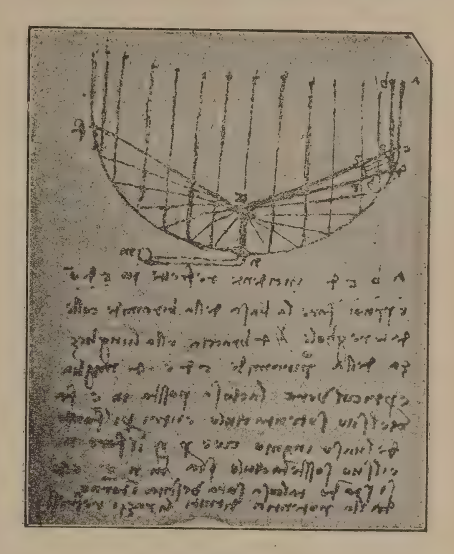


Fig. 73.

3. Der parabolische Brennspiegel.

Diese Form der Brennspiegel ist im Anschluß an die frühereu Untersuchungen des Mittelalters und Altertums auch von Leonardo behandelt worden. Wir finden über alle seine Werke verstreut Angaben über diese Brennspiegel, ihre Konstruktion und ihre Herstellung. Ganz besonders interessiert uns eine Stelle[1]), an der er die theoretische Konstruktion des

[1]) C.-A., fol. 32 r—a (siehe Figur 75): „Se vollessi fare una spera in cavo, che, volgiendola ai razi del sole, ardessi ciò che si interponessi alla sua piramida, vuolsi fare il primo tratto una piramida, che sia com'è figurato di sopra, che c d entri 2 volte in a b; poi piglia la metà della linia d b, ch' è e, e sega insino al cientro del fundamento della piramida, che è c, e con quella tagliatura fa la tua cintina; e sappi che la piramida vuole essere dond' à[?] pa (. . . .) [apparè ?] un pane di zucchero.“

„Wenn du einen Hohlspiegel machen willst, der, wenn du ihn den Sonnenstrahlen zuwendest, das, was zwischen seine Pyramidenflächen gelegt würde, entzünden würde, so will ich im ersten Trakt zuerst eine Pyramide bilden, der wie oben abgebildet sei, so daß c d zweimal in a b aufgeht Dann nimm die Hälfte der Linie d b, die e ist, und schneide bis zum Zentrum der Grund-

Hohlspiegels gibt, indem er einen gleichseitigen Kegel zeichnet, alsdann die Achse des Kegels zieht, die eine Seite halbiert und nun von diesem Punkte eine Fläche durchlegt, deren Mittellinie parallel zur anderen Seite des Kegels, und deren Grundlinie senkrecht auf der Verbindungslinie der beiden Seiten des Kegels steht.

An dieser Stelle sind zwar einige Worte verstümmelt, und z. B. ist das Wort „cientina“ nicht in den Wörterbüchern zu finden, aber doch ist mit Leichtigkeit zu erkennen, daß es sich hier um die mathematische Konstruktion einer Parabel, also auch um die mittlere Schnittfläche eines parabolischen Hohlspiegels handelt. Bei dieser Konstruktion ist noch zu beachten, daß er die Höhe des Kegels gleich der Hälfte seiner Grundlinie nimmt.

Wie die hier beistehende Figur 75 zeigt, ist die Konstruktion recht deutlich zu erkennen. Diese Figur befindet sich auf einer Seite des Codex atlanticus, die die Herstellung parabolischer Spiegel von Anfang an zeigt Die Seite ist in verkleinertem Maßstabe gegeben, aber es ist genau die oben genannte mathematische Konstruktion zu erkennen, ferner die Maschine, mit deren Hilfe Formen hergestellt werden, die die Gestalt eines gewöhnlichen oder eines parabolischen Hohlspiegels haben, und in denen die Hohlspiegel angefertigt

---

fläche, was c ist, und mit diesem Maße mache deine Mitte [? d. V.]; und wisse, daß die Pyramide sein will, von wo . . . [?], ein Zuckerhut [will eine Form haben, worin sie erscheint als ein Zuckerhut.]“

Die auf dieser Seite befindlichen Bemerkungen sind noch folgende:

„Modo di macinare grano.

Cassa dove si serra la forma serrata.

Fermamento della spera.

Questa spera si vuol fare di terra, poi cuociere e ritornar al sopra detto strumento; poi invetriare grassa mente e mettere in fornace rovescio, posta in sulla cienere e piana, e che 'l vetro corra presto.

Quanto più il moto naturale del foco o del peso fia lungo, più vale la sua percussione.

fornello. Fondamento de fornello.

Zaffo. bagnio. isfiatatoi. fuoco.

Dal' a al b à a esser voto, acciò che laria sia quella che dia movimento al fuoco.“

werden. Auch zeigt uns die Seite Öfen, in denen die Spiegel gebrannt werden.

Die Herstellung[1]) selbst ist etwa folgende: Auf einer festen Unterlage wird eine Drehscheibe montiert, und darüber ein

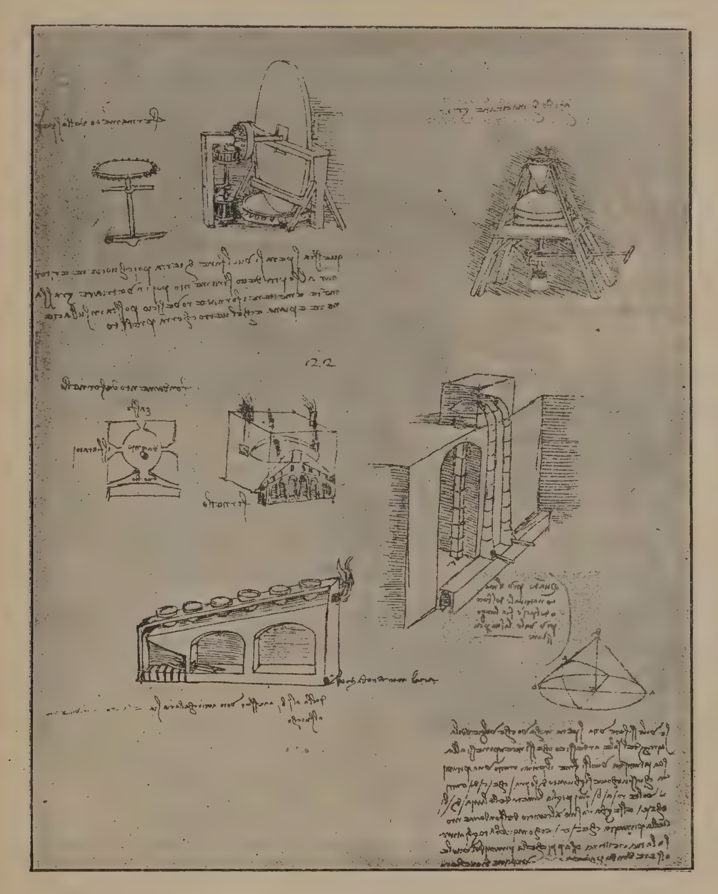


Fig. 75.

Schleifrad angebracht, das in Bewegung gesetzt wird. Durch die Bewegung der Achse dieses Rades wird mittels Zahnrad-

[1]) Derartige Angaben und die zur Herstellung der Spiegel erforderlichen Öfen finden wir sehr häufig in Leonardos Werken, z, B.: C.-A., fol. 32 r—a, 293 v—a, 320 r—b, 364 r—c u. a. m.

übersetzung auch gleichzeitig die Drehscheibe angetrieben, sodaß das Rad bei seiner Bewegung fortschreitend stets mit einem anderen Teil der Drehscheibe in Berührung kommt. Auf der Drehscheibe wird nun ein geeignetes Material wie Ton oder dergleichen in einem Hohlgefäß befestigt und hierin so zu sagen eine Matrize für den Hohlspiegel hergestellt. Alsdann wird diese Matrize in einem Ofen gebrannt und glasiert, um dies Ganze noch einmal zu brennen und so einen parabolischen Spiegel zu haben.

Es ist eine solche Maschine links oben auf der dargestellten Seite zu erkennen. Rechts von dieser Abbildung ist eine andere Herstellungsart zu erkennen, und zwar handelt es sich hier, wie ich aus anderen Fällen entnehmen konnte, ebenfalls um die Herstellung einer Matrize, bei der aber die Matrize selbst festliegt und ein aus mehreren Bogen, die mit Eisen- oder Stahlblechen versehen sind, sogenannter Stempel, gebildet ist, der bei seiner Drehung die Matrize herstellt.

Über die Hohlspiegel und auch über ihre Herstellung steht uns nun eine äußerst umfangreiche Literatur aus der Zeit vor Leonardo da Vinci zur Verfügung. Besonders wäre hier Ibn al Haitam (Risners Opt. Thes.) und Al Kindî[1]) zu nennen.

Hier sei auch auf Gerardos Übersetzung des Al Kindî-Werkes: „Scientia de aspectibus" verwiesen[2]).

Wir sehen also aus den vorstehenden Erörterungen, daß auch im vorliegenden Falle Leonardos Kenntnisse von seinen Vorgängern stammen und er ihnen nichts hinzugefügt hat.

---

[1]) Fihrist S. 261, vergl. hierzu Wiedemann, Beitrag V, 1905, S. 403. Hier ist zu entnehmen, daß von Al Kindî die Schriften „Über die Herstellung der Brennspiegel" und „Über die Glut des Spiegels" stammen.

[2]) Ferner: Wiedemann, Zur Geschichte der Brennspiegel. Wied. Ann. Bd. 39 S. 110 ff. — Eine vollständige Übersetzung der Arbeiten von Ibn al H. über die sphärischen und parabolischen Hohlspiegel sowie der Text der lateinischen Übersetzung der letzteren wird demnächst von J. L. Heiberg und E. Wiedemann in der Bibliotheca math. veröffentl. werden.

Ferner: Wiedemann, „Über das Experiment im Altertum und Mittelalter" in „Unterrichtsblätter für Mathematik und Naturwissenschaften" 1906, Seite 9.

Vergl. auch Vogl, Roger Baco; siehe hierzu ebenfalls die Schlußbetrachtung bei Camera obscura.

Weiteres über die Abhängigkeit Leonardos von den Alten siehe den Schluß der Katoptrik, S. 136 ff d. W.

4. Zylinderspiegel.

Leonardo zieht nur den konkaven Zylinderspiegel (Fig. 76 und 77), der ein Brennspiegel ist, in Betracht und gibt kurz

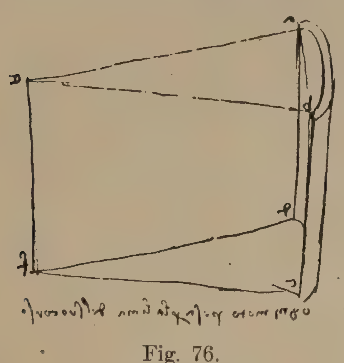


Fig. 76.

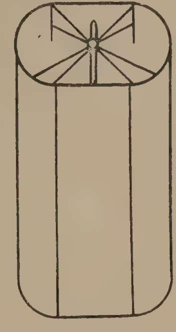


Fig. 77.

an, daß die reflektierten Strahlen eine Brennlinie (Linie des Zusammenlaufens) gleich der Länge des Spiegels bilden[1]).

c) Reflexionserscheinungen in der Natur.

Leonardo, dessen Auge ja in seltener Weise geschult war, hat vielfach angegeben, wie die an Apparaten beobachteten oder wohl vielmehr nur dargestellten und beschriebenen Erscheinungen sich in der Natur wiederfinden.

So finden wir auf dem Gebiete der Reflexion eine Reihe von Aussprüchen und Darstellungen Leonardos, aus denen zu erkennen ist, daß er bei den von der Natur dargebotenen spiegelnden Flächen an die fundamentalen Gesetze der Reflexion denkt und bestrebt ist, diese Naturerscheinungen auf Grund dieser Gesetze zu erklären. Ob er nun von selbst auf die systematische Betrachtung der Reflexionserscheinungen in der Natur gekommen ist, oder ob er durch seine Vorgänger darauf hingewiesen ist, soll zum Schlusse dieses Kapitels erörtert werden.

---

[1]) C.-A., fol. 392 r—b: „a b c d è uno specchio da foco. La linia e f è il concorso de' sua razzi." (Fig. 76); und fol. 338 r—a, (Fig. 77.)

Wir unterscheiden die Reflexionserscheinungen an Gegenständen auf unserer Erde selbst und dann die an anderen Weltkörpern.

Wenn man z. B. an einem Flusse steht und die Sonne sich spiegeln sieht, so erblickt man das reflektierte Sonnenbild stets im Flusse, und wenn man noch so weit am Flusse entlang gehen sollte[1]). An dieser Stelle spricht Leonardo nicht von bewegtem Wasser, sondern er nimmt ruhiges an. Bildet aber das Wasser Wellen, so ist das reflektierte Sonnenlicht bedeutend auseinander gezogen. Das an den Saiten eines Monochords reflektierte Licht dient als Beispiel[2]).

Fig. 78.

Alsdann kommen wir zu der Reflexion des Lichtes an Himmelskörpern, besonders den Planeten. Von diesen weiß er, daß sie ihr Licht von der Sonne erhalten[3]), ein Resultat, das den Arabern, so Ibn al

[1]) M.-A, fol. 19 v: „pigliamo loesenplo. delsole. ilquale. sechaminerai. per una riviera dunfiume e vederai. spechiare indetto fiume ilsole tanto quanto. chaminerai. lungo. esso fiume tanto tipara cheilsole chonte chochamini ecquesto cheilsole ettuto pertutto ettutto nella parte.“ (Ohne Figur.)

[2]) Vergl. das in England befindliche Manuskript W. X. Es ist das 10. Blatt der losen Blätter in der Windsor-Bibliothek. (Diese Notiz ist J. P. Richter entnommen, II. Bd., § 878): „Il sole parirà maggiore nell' acqua movente e ōdeggiāte che nella ferma: esemplo del lume visto sopra le corde del monocordo.“

[3]) M.-F, fol. 57 r: „Selestelle an lume dalsole odase.

Dicano di hauere illume dasse allegando che se uenere emerchurio non nauessi ilume dasse quando essa sinterpone infral lochio nostro elsole esse oscurerebon tan to desso sole quanto esse necoprano alôchio nostro E queste falso perche prouato come lonbroso posto nelluminoso ecinto ecoper to tutto darazi laterali delrimanente dital lu minoso ecosi resta inuisibile. Come sidi mostra quando ilsole e veduto perla rami ficatione delle piante sanza foglie ilunga di stantia essirami nonochupano parte al cuna desso sole alli ochi nostri J lsimile acade apredetti pianeti liqua li ancora che dase esieno sanza luce eglino nono cupano come detto parte alcuna del sole allochio nosstro.“ (Fig 78.)

„Ob die Sterne das Licht von der Sonne oder von sich haben.

Sie sagen, daß sie das Licht von sich haben, indem sie anführen, daß, wenn Venus und Merkur nicht eigenes Licht hätten, sie, wenn sie zwischen unser Auge und die Sonne treten, hierdurch soviel von der Sonne verfinstern würden, als sie von ihr für unser Auge bedecken. Das ist falsch, weil es erwiesen ist, wie das Schattige, das in das Leuchtende gestellt ist, ganz umgeben und bedeckt wird durch die Seitenstrahlen des Restes dieses Leuchtenden,

Haitam (vgl. Wiedemann, Über Ibn al Haitam, und: Über das Licht der Sterne), entnommen ist, wie am Schlusse dieses Kapitels gezeigt wird. An dieser Stelle spricht er besonders von den Planeten Venus und Merkur. (Hierzu Fig. 78.)

Äußerst zahlreich sind die Stellen, an denen er sich mit dem Mond beschäftigt und zwar hauptsächlich wegen des Schattens des Mondes. Er weiß, daß dieser nicht als eine sphärische Fläche aufzufassen ist, die, womöglich spiegelnd, nur an dem getroffenen Punkte die Strahlen reflektiert, so daß also unter gewissen Bedingungen gegebenenfalls nur einzelne Gegenden der Erde die reflektierten Strahlen der Sonne erhalten bezw. wahrnehmen könnten. Gegen diese Auffassung wendet er sich, indem er die Ansicht, daß die Oberfläche des Mondes glatt und poliert sei, als falsch bezeichnet[1]) (Fig. 79), eine Ansicht, gegen die sich gleichfalls schon die Araber wandten, so nach der Abhandlung von Wiedemann: Ibn al Haitam in seiner Schrift über das Licht des Mondes (Kodex 734 des India Office fol. 32^b—47^b).

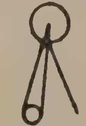


Fig. 79.

Um nun die Erscheinung zu erklären, daß man die Mondfläche vollständig beleuchtet sieht, soweit es bei der betreffenden Phase möglich ist, führt er an, daß gleich den Spitzen seiner Gewässer die hervorragenden Stellen erleuchtet seien[2]).

---

und so unsichtbar bleibt. Wie man zeigt, daß, wenn die Sonne durch die Zweige der Pflanzen ohne Blätter in großer Entfernung gesehen wird, die Zweige keinen Teil der Sonne für unser Auge bedecken. Dasselbe findet für die genannten Planeten statt, die, obgleich sie an sich ohne Licht sind, keinen Teil der Sonne, wie gesagt wird, für unser Auge bedecken."

[1]) M.-F, fol. 85r: „Altri dicano chella superfitie della luna essendo tersa epulita che essa assimilitudine disspechio riceue in se la similitudine della terra. Questa openione efalsa . . ." (Fig. 79.)

„Andere sagen, daß die Oberfläche des Mondes glatt und poliert sei, er empfinge in sich wie in einem Spiegel ein Bild der Erde. Diese Ansicht ist falsch."

[2]) M.-F, fol. 77v: „Listremi della luna saran piu alluminati essidimoste ran piuluminosi perche inquelli nonapare senon leson mita dellonde delle sue acque." (Fig. 80.)

„Die hervorragenden Stellen auf dem Monde werden mehr erleuchtet sein und werden sich noch leuchtender erweisen, weil an ihnen nichts sichtbar wird als die höchsten Erhebungen der Wellen."

Leonardo vergleicht also die Mondoberfläche mit einem bewegten Meere.

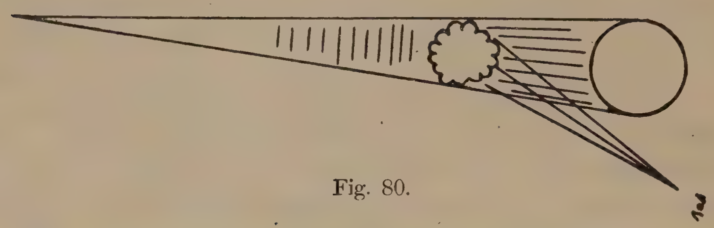


Fig. 80.

Sehr häufig finden wir die Stellen über den Mond, besonders im Manuskript M. Auch im Manuskript A handelt ab und zu eine ganze Seite hierüber. Es sei gerade für diese Materie auf das vorzügliche Werk von Mario Baratta, Leonardo da Vinci ed i Problemi della Terra, Turin, 1903, hingewiesen, in dem S. 1—25 vom Monde handeln. Der Vollständigkeit wegen seien hier die wichtigsten Stellen, an denen Leonardo vom Monde spricht, angeführt: M.-A, fol. 64r; M.-F, fol. 84v, 93r, und M.-G, fol. 20r.

Wohl auf keinem Gebiete der Physik tritt der Einfluß der Alten auf Leonardo und seine Leistungen so klar zutage als auf dem der Katoptrik, sei es bei der Reflexion an ebenen, sei es bei der an gekrümmten Flächen.

Wir haben schon gelegentlich darauf hingewiesen, daß Leonardo oft weitgehende Entlehnungen aus den Werken der Alten gemacht hat. Denn die Figuren der dort genannten Werke stimmen mit den Seinigen so genau überein, daß man gar keinen Zweifel hegen kann, daß sie Leonardo übernommen hat: Die Spiegelung im einfachen Spiegel[1]), die Entfernung des Bildes von der Oberfläche, die Annahme, daß das Licht durch Reflexion geschwächt wird[2]). Es ist ja auch bekannt, daß sich Euklid, Ptolemäus und Heron hauptsächlich mit der Reflexion an ebenen Spiegeln beschäftigt haben[3]).

---

[1]) Siehe Euklids Ausgaben von Gregorii und Heiberg, Alhazens Schrift und Vitellos von Risner, u. s. f.

[2]) Vergl. Vogl, Roger Baco, S. 64.

[3]) Vergl. Bindel, Versuche der Alten und der Araber, Bamberg, 1903, S. 29.

Noch deutlicher tritt der Einfluß seiner Vorgänger auf ihn bei der Lehre von der Reflexion an gekrümmten Flächen hervor, und zwar besonders der Euklids[1]), der von Hohlspiegeln spricht, die der Sonne gegenüber gestellt werden und Feuer entzünden. Auch der Einfluß Roger Bacos[2]), den Leonardo allerdings nur einmal erwähnt, und einiger lateinischer Gelehrten sind zu erkennen, zumal in bezug auf die parabolischen Spiegel, über die eine Reihe von Schriften erhalten sind. Außerdem z. B. Vitello, 8. Buch, Prop. 68 und 9. Buch, Prop. 37.

Von Ibn al Haiṯams großer Optik hat Leonardo entweder die lateinische Übersetzung von Gerard von Cremona[3]) (gest. 1187), den er auch erwähnt, benutzt oder aber eine italienische Übersetzung; daß solche vorhanden war, ehe der Risnersche Opticae Thesaurus Alhazeni vom Jahre 1572 erschienen war, hat Narducci[4]) nachgewiesen. Da nun Leonardo die sogenannte Alhazensche Aufgabe[5])[6])[7]), den Reflexionspunkt bei sphärischen, zylindrischen und konischen Spiegeln zu finden, erwähnt und sich auch bemüht, die Lösung zu geben, ferner auch, wie schon gesagt, die gleichen Angaben über die Sterne, besonders Merkur und Venus bringt wie Ibn al Haiṯam, so ist mit großer Wahrscheinlichkeit zu schließen, daß Leonardo Ibn al Haiṯam gekannt und benutzt hat.

Gleichzeitig sei hier auf Gerardos Übersetzung des al Kindîschen Werkes: „Scientia de aspectibus" verwiesen, das, wie bei der Behandlung der Camera obscura näher nachgewiesen ist, Leonardo ebenfalls gekannt hat. Von al Kindî[8])

---

[1]) Euklids 31. Theorem seiner Katoptrik.

[2]) Br.-M., 71 b (nach J. P. Richter, Bd. II, § 1484), wo es heißt: „Rugiero Bacone fatto in istanpa."

[3]) Erwähnt: C.-A., fol. 260 r—a.

[4]) Narducci, Bulletino di Boncompagni 4, S 871.

[5]) Wiedemann, Zur Geschichte des Brennspiegels, Wiedemanns Annalen der Physik, 39, S. 120, und Wiedemann, Beiträge zur Geschichte der Naturwissenschaften XI, Erlangen, 1907, S. 75.

[6]) Siehe S. 126 dieser Schrift, auf der die Stelle M.-F, fol. 10 v, besprochen ist.

[7]) Vergl. Schnaase, Die Optik Alhazens, Pr. Stargard, 1889, S. XII.

[8]) Vergl. Vogl, Roger Baco, S. 32.

hat er außerdem in der Hauptsache Angaben über die Himmelskörper entlehnt. Auch muß hier erwähnt werden, daß bereits Roger Baco[1]) aus der (Pseudo-)Euklidischen Schrift in der 33. Prop. der „de speculis“ entnommen hat, daß man Spiegel verfertigen konnte, die vorn und rückwärts eine Vereinigung der Strahlen ergeben; vergl. hierzu die Fig. 68 d. W. Hier dürfte also auch Leonardos Abhängigkeit von seinen Vorgängern zu erkennen sein.

6. Kapitel.

Dioptrik.

a) Strahlenberechnung in verschiedenen Medien und in der Krystallhalbkugel.

Aus den sehr spärlichen Angaben und den noch spärlicheren Darstellungen aus dem Gebiete der Refraktion läßt sich eine Darstellung der Kenntnisse dieser Materie bei Leonardo kaum herausfinden. Gerade der Codex Atlanticus und die Pariser Manuskripte geben hier sehr wenig.

Vom gleichbleibenden Medium, durch das die Lichtstrahlen hindurchgehen, ist im Kapitel von der „Geradlinigen Fortpflanzung“ die Rede, dort ist auch eine Stelle gegeben, die von der Theorie der geradlinigen Fortpflanzung spricht. Es sei hier darauf hingewiesen, daß der Strahl im gleichbleibenden Medium, z. B. Luft, gerade ist[2]).

Ebenfalls nicht allzu bestimmte Angaben finden sich im Codex vaticanus (Urbinas)[3]). Da die in diesem Codex zusammengestellten Aussprüche und Darstellungen Leonardos sonst fast immer in den anderen Manuskripten enthalten sind, so müßte man die eben genannte Stelle wohl in den letzteren finden. Dies war aber nicht möglich, darum seien die Nummern des genannten Codex angeführt: 524 besagt: „Von der Natur

---

[1]) Vergl. Vogl, Über die (Pseudo) Euklidische Schrift „De Speculis“, im Archiv für Gesch. der Naturw. und der Technik, I. Bd., Leipzig, 1909, S. 421.

[2]) Vergl. M.-A, fol. 8v. (Ohne Figur.)

[3]) Vergl. Ludwig, L. d. V., das Buch von der Malerei, Wien, 1882, I. Teil, S. 515.

des Mediums, das sich zwischen das Auge und das Objekt schiebt.“ Hier ist jedoch nichts aus der beigefügten Erklärung zu entnehmen, was auf Refraktion Bezug hätte. Dagegen heißt es bei Nummer 525: „Wirkungen des Mittels, das von gemeinsamer Oberfläche umschlossen ist.“ Die Erklärung hierzu sagt, daß ein „Medium, das von einer zusammenhängenden Oberfläche umschlossen ist, dem Auge das hinter ihm befindliche Objekt niemals an seiner wahren Stelle zeige. Das Kristallstück von parallelen Oberflächen bewirke, daß man die obere Seite des Objektes in der Linie [?] sähe[1]).“

Ludwig gibt dann eine Figur, die nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz die obere Seite m n zeigen soll, stellt jedoch, und zwar ohne sichtbaren Grund, den Kristallkörper im entgegengesetzten Sinne schräg auf.

Immerhin ist aus Leonardos Figur zu entnehmen, daß er die Brechung im dichteren Medium nicht richtig erfaßt hat.

In dieser Erklärung ist die Rede von der „7ten“ der „4ten[2])“. Würde man nun die 7. These des 4. Buches des Alhazen nachsehen, so würde man nichts von Brechung finden. Schlägt man jedoch umgekehrt die 4. These des 7. Buches dieses Gelehrten auf, so findet man den Satz des Reflexionsgesetzes: „Radius medio densiori obliquus, refringitur ad perpendicularem a refractionis puncto excitatam[3]).“

Zu den bereits vorher an verschiedenen Stellen gegebenen Beweisen, daß Leonardos Alhazens Werke gekannt habe, kommt der vorstehende noch hinzu und dürfte als ein sehr schlagender gelten. (Vergl. hierzu S. 29.)

---

[1]) C.-Vat. Nr. 525: „Il Mezo circondato da superficie commune non rende mai all' occhio l' obbietto, che sta doppo se. nel suo uero sito. Prouasi, et sia il cristallo di superficie parallele. o r, per il quale l' occhio a uede la meta dell' obbietto n g, che sta doppo lui, cioe n m, per la parte del cristallo b o, e uede il rimanente dell' obbieto, m g, per l' aria, che sta sotto il cristallo.“ (Figur nicht gegeben)

„Ein Medium, das von einer zusammenhängenden Oberfläche umschlossen ist, zeigt dem Auge das hinter ihm befindliche Objekt niemals an seiner wahren Stelle. Das Kristallstück o r von parallelen Oberflächen bewirke, daß man die obere Seite m n des Objektes n g in der Linie p b sähe, u. s. w.“.

[2]) „per la 7ª del 4º.“

[3]) Vergl. Risners Opt. Thesaur. Alhazeni, Basel, 1572, S. 235.

Ein Apparat zur Ableitung des Brechungsgesetzes und zur Berechnung der Brechungswinkel in den einzelnen Medien ist bei Leonardo nirgends zu finden, auch nicht übernommene Angaben über die Größe dieser Winkel, trotzdem Ptolemäus, Alhazen und Vitello bereits über letztere eingehende und verhältnismäßig genaue Bestimmungen angestellt hatten[1]).

Das allbekannte und von den Alten bereits ausgeführte Experiment[2]), einen Gegenstand in einer Schale erst dann sehen zu lassen, wenn Wasser in die Schale gefüllt wird, bringt Leonardo nicht, jedoch zeigt uns eine Stelle aus den in London befindlichen Manuskripten[3]), daß er dieses Experiment in anderer Form gedacht und dargestellt hat. (Fig. 81.)

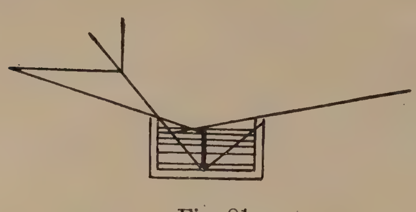


Fig. 81.

Der erste Satz dieser Stelle ist nicht ganz verständlich, weder in der Übertragung aus dem Manuskripte noch in der Übersetzung. Jedenfalls sagt hier Leonardo, daß die geraden Linien (also Strahlen) an der Oberfläche (d. h. der Flüssigkeit) gebrochen werden, weil sie durch das dünnere in das

[1]) Vergl. Gerland und Traumüller, Geschichte d. Experimentierkunst, Leipzig, 1899, S. 77; ferner: Kistner, Gesch. d. Physik, Leipzig, 1906, S. 17 und 22.

[2]) Vergl. Winter, Avicennas opus egreg. u. s. w., München, 1903, S. 49. Kistner, Gesch. d. Physik, Leipzig, 1906, S. 16; Wiedemann, Über d. Experim. im Altert. u. Mittelalter, 1906, S. 8.

[3]) M.-Br. M., fol. 220 b (nach J. P. Richter, The literary works of L. d. V., London, 1883, Bd. I, § 75):

„Se 'l giuditio dell' ochio è dentro di lui, le linie rette delle spetie si rompono insulla superfitie sua perchè uanno dal raro al denso; se tu sia sotto l' aqua e riguardi la cosa infrall' aria tu vedrai essa cosa fori del suo sito, e cosi fa la cosa infrall' acqua veduta dall' aria.“ (Siehe Fig. 81.)

„Wenn die Wahrnehmungsfähigkeit des Auges in seinem Innern gelegen ist. Die geraden Linien der Spezies brechen sich auf seiner Oberfläche, weil sie aus dem dünneren zum dichteren Medium gehen. Wenn du unter dem Wasser bist und den Gegenstand in der Luft siehst, so wirst du ihn außerhalb seiner Stelle sehen, und ebenso verhält sich der Gegenstand innerhalb des Wassers, der von der Luft aus gesehen wird.“

dichtere Medium gehen. Wenn man sich unter Wasser befindet und nach Gegenständen in der Luft schaut, so wird man sie außerhalb ihres wirklichen Platzes sehen, und dasselbe geschieht mit Gegenständen unter Wasser, wenn sie von der Luft her gesehen werden.

Leider ist an einer anderen Stelle[1]) nur die Aufgabe gegeben worden, die Beobachtung zu machen, welchen Weg ein Sonnenstrahl macht, wenn er in zwei ineinander gestellte, mit parallelen Seiten versehene und mit Wasser gefüllte Gefäße eindringen würde. Einmal sollen die Gefäße zylindrisch (Fig. 82), einmal halbkugelförmig (Fig. 83) sein. Aber nach

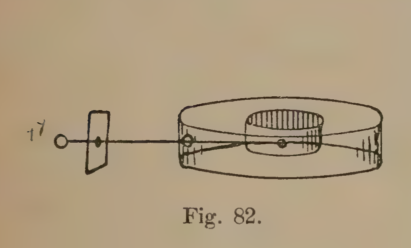


Fig. 82.

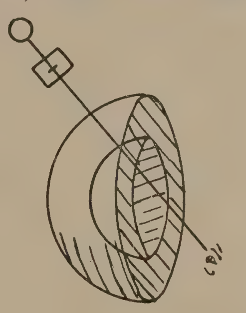


Fig. 83.

den an dieser Stelle befindlichen Zeichnungen ist keine besondere Beobachtung zu erkennen, da die Strahlen senkrecht auffallen und nach dem Mittelpunkte der Gefäße gehen, daher nicht abgelenkt werden.

Interessanter ist dagegen seine Beobachtung, die er mit einer Kristallhalbkugel, die auf ihre Kante gestellt ist, vornimmt. Er sagt an dieser Stelle[2]), daß die „Spezies“ der

---

[1]) M.-F, fol. 33 v: „modo disperimentare come lirazi penetrano licorpi liquidi.“

„Guarda stando co lochio incentro de la palla se vnlu me dicandela osse rua lasua grande za onno —.“ (Fig. 82 u. 83.)

„Art zu experimentieren, wie die Strahlen die flüssigen Körper durchdringen.“

„Betrachte, indem du mit dem Auge im Zentrum der Kugel stehst, ob ein Kerzenlicht seine Größe behält oder nicht.“

[2]) M.-F, fol. 53 v: „Selle spetie de corpi r s x posti sulpiano t h passer an per cristallo fatto duname za spera c u r e andranno allochio a lobietto

Körper, die jenseits der gekrümmten Fläche der Halbkugel in einer horizontalen Ebene liegen, durch diese Kugel hindurchgehen und so zum Auge gelangen. Dabei erscheint der von der aufliegenden Kante am meisten entfernt liegende Körper, die natürlich unter sich gleich sind, am größten.

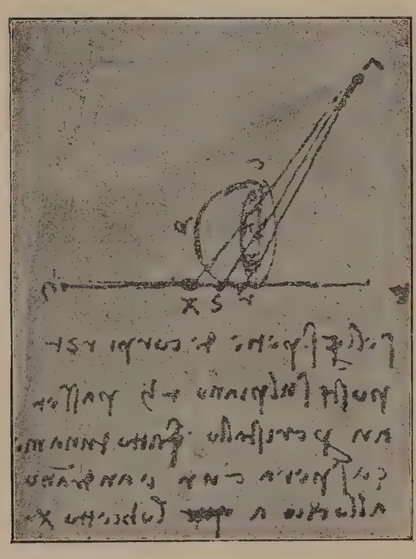


Fig. 84.

Eine gleiche Kristallhalbkugel gibt Leonardo noch im M.-K, fol. 118 v, wo divergierende Strahlen gut zu erkennen sind.

Wir haben also hier ganz deutlich das Modell eines Vergrößerungsglas, das als Lupe zu benutzen ist.

Wie nachher im Kapitel über „die Brillen" gezeigt werden wird, hat Leonardo auch hier die Kenntnisse von den Alten und von seinen Vorgängern entnommen, deren Wissen er aber nichts hinzugefügt hat.

b) Brille.

Selbstverständlich kannte Leonardo auch die Brille, die ja schon rund 200 Jahre vor ihm vorhanden und in einzelnen Fällen in Gebrauch gekommen war. Von der Brille benutzen wir hauptsächlich zwei Arten, die mit konvexen Gläsern für Weitsichtige und die mit konkaven Gläsern für Kurzsichtige. Letztere Brillenart ist jedoch zu Leonardos Zeiten nicht bekannt gewesen [1]).

---

x. parra magore che lobietto r ancora che essi sieno infrallo ro equali." (Figur 84.)

„Wenn die Spezies der Körper r s x auf die Ebene t h gelegt durch Kristallhalbkugel c u r gehen und zum Auge a gelangen, wird das Objekt [Körper] x größer erscheinen als der Körper r, obgleich sie unter sich gleich sind."

[1]) Brillen mit konkaven Gläsern sollen erst seit dem Anfang des 16. Jahr-

Eine der Hauptstellen über die Brille ist im Codex-Atlanticus zu finden[1]). Leonardo spricht hier von dem Ver-

hunderts bekannt sein. Vergl. Hirschberg, Gesch. d. Augenheilkunde, II. Buch, II. Teil, 1906, S. 281.

[1]) C.-A., fol. 244 r—a: „Pruova come li occhiali aiutan a la vista. Siano li occhiali a b e li occhi c d quali per essere invecchiati, bisognia che l' obbietto, che soleano vedere in e con gran facilità e forte piegare il loro assis dalla rettitudine de 'nerbi ottici, la qual cosa, per causa della vecchiezza, viene tal potenzia di piegare a essere indebolita, onde non si po torcere sanza gran doglia d' essi occhi, sì che per necessità son constretti a fare più remoto l' obbietto, cioè da e a f, e lì poi lo vede meglio, ma non all minuta; ora, interponendo l' occhiale, l' obbietto, è ben conosciuto nella distanzia della gioventù, cioè in e, la qual cosa accade perchè l' obbietto e passan all' occhio per vario mezzo, cioè raro e denso, raro per l' aria ch [e è] tra l' occhiale e l' obbietto, e [den] so si è per la grossezza del vetro [delli] occhiali, onde la rettitudine [. . . .] piega nella grossezza del vetro [e to]rce la linia a d in modo, ch [e ve] dendo la cosa in e, esso la vede come in i f, per comodità di non piegare l' assis dell' occhio da' sua nervi ottici, e per vicinità la vede e conosce meglio in e che in f, e massime le cose minute.“ [Die Ergänzungen sind nach dem Kommentar. Viele Buchstaben waren nach einer Anmerkung dieses Kommentars nicht zu entziffern.] (Siehe Fig. 85.)

„Beweis, wie die Augengläser die Sehkraft unterstützen. Es seien die Augengläser a b und die Augen c d, bei denen es, wenn sie gealtert sind, nötig ist, daß der Gegenstand, den sie in e zu sehen gewohnt waren, und zwar [sonst] mit großer Leichtigkeit und unter starker Beugung [Gegeneinanderneigung] ihrer Achsen bei Richtigkeit [guter Funktion] der Augennerven, [nun weiter entfernt werde, denn] wird jene Fähigkeit zu beugen schwächer, so daß man nicht ohne große Anstrengung die Augen drehen kann, so daß sie [wie schon gesagt] notgedrungen gezwungen sind, den Gegenstand weiter zu entfernen, d. h. von e nach f, und dort sieht man ihn dann besser, aber nicht genau. Nun aber wenn man die Brille dazwischen setzt, wird der Gegenstand gut erkannt in der Entfernung der Jugend, d. h. in e, was daher kommt, daß der Gegenstand e zum Auge durch verschiedene Medien gelangt, d. h. durch dünne und dichte, nämlich dünn in bezug auf die Luft, die zwischen der Brille und dem Gegenstande steht, und dicht in bezug auf die Stärke des Glases der Brille, weshalb die Richtigkeit beugt in der Dicke des Glases und dreht die Linie a d in der Weise, daß, obwohl man den Gegenstand in e sieht, man ihn so wahrnimmt, als ob er in der Richtung e f läge, unter der Bequemlichkeit, die Augenachse nicht durch seine Augennerven zu beugen, und wegen der Nähe sieht man ihn deutlicher in e statt in f, und erkennt meistens die Gegenstände genau.“

Die vorstehenden Gedanken Leonardos sind scheinbar anakoluthisch hingeschrieben. Die Übersetzung sucht einen verständlichen Satz zu geben. Dabei sind die Worte: „la qual cosa,“ weil unverständlich, weggelassen. D. V.

suche, mit Hilfe der Brillengläser (natürlich der konvexen) einen nahegelegenen Gegenstand deutlich erkennen zu können, sobald die Augen z. B. bei älteren Personen weitsichtig geworden sind. Er sagt hier sehr richtig, daß man in der Jugend allgemein imstande ist, einen nahegelegenen [d. h. in der Sehweite gelegenen] Gegenstand gut zu erkennen, und daß man diesen Gegenstand im Alter, wenn also die Augen weitsichtig geworden sind, nur mit Hilfe der Brille gut erkennen kann. Er zieht hierbei die Stellung der beiden Augenachsen in Betracht (siehe Fig. 85) und ist der Ansicht, daß die weitsichtigen Augen eines älteren Menschen sich nicht mehr so gut mit ihren Achsen gegen einander neigen können, wie die normalen Augen jüngerer Menschen, daher kann der nahegelegene Gegenstand nicht gleichzeitig von beiden Augen gesehen werden.

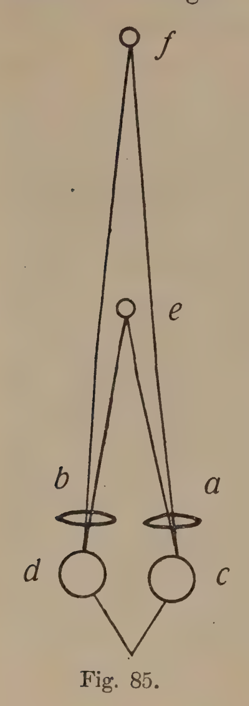
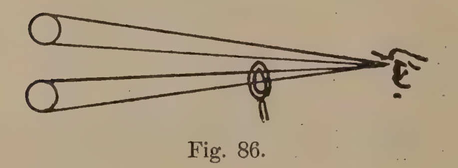


Fig. 85.

Diese Ansicht ist aber nicht richtig, da ja auch bei Verwendung einer Brille die Augenachsen stets nach dem betreffenden Gegenstand gerichtet bleiben. Leonardo hat eben nicht erkannt, daß weitsichtige Augen die Akkomodationsfähigkeit verloren, haben, d. h., daß das außerhalb des Augapfels, also jenseits der Netzhaut entstehende Bild nicht mehr deutlich wahrgenommen wird.


Fig. 86.

Eigenartig ist, daß ein so klarer Kopf wie Leonardo nicht daran gedacht hat, daß ja schon ein Auge kurzsichtig ist sein kann.

An einer anderen Stelle macht er den Versuch, zwei gleiche Gegenstände einmal ohne und einmal mit Brillenglas zu betrachten (siehe Fig. 86). Hierbei kommt er zu dem Resultat, daß der durch das Brillenglas betrachtete Gegenstand größer

erscheint als der andere. Hier sind nur die Angaben bezüglich des Alters des Betrachtenden und bezüglich der Entfernungen nicht verständlich[1]).

Weiter ist ihm bekannt, daß bei verschieden schlechten Augen die Bilder je nach der Krümmung der Brillengläser richtig zustande kommen[2]). Ferner spricht er einmal davon, daß richtig angewandte Brillen den zu betrachtenden Gegenstand richtig, falsch angewandte aber falsch ins Auge bringen[3]).

Alsdann finden wir noch eine Stelle, nach der die Brillengläser mit Wasser gefüllt werden sollen[4]).

Ferner warnt er einmal davor, mit Brillengläsern in die Sonne zu sehen, sobald man sie in einiger Entfernung vom Auge hält. Hierdurch könnte das Auge für immer zerstört werden[5]). Daß diese Zerstörung durch die Brennwirkung der konvexen Gläser hervorgerufen wird, gibt er aber nicht an.

Erwähnenswert ist hier, daß er auch einmal von „Schneebrillen“ spricht[6]).

---

[1]) M.-A, fol. 12 v.: „-liochali quanto. piv lialontani dallochio pivmostrano magiori quando sono di 50 anni esselochio vedera due equalicose alparagone luna fori dellochiale. ellaltra dentro, quela dellochiale. li para grande e laltra pichola me le vedute cose deono essere lontane dallochio 200 braccia“. (Siehe Fig. 86).

„Augengläser. Je weiter du die Augengläser vom Auge entfernst, desto größer werden sie dir die Gegenstände zeigen, wenn sie [die Augen] 50 Jahre sind; und wenn das Auge zwei gleiche Gegenstände vergleichend betrachtet, den einen außerhalb der Gläser und den anderen durch sie hindurch, wird der bei den Gläsern groß erscheinen und der andere klein; aber die gesehenen Gegenstände müssen vom Auge 200 Ellen entfernt sein“.

[2]) Vergl. M.-D, fol. 7 r.

[3]) Vergl. M.-D, fol. 3 r.

[4]) Vergl. M.-D, fol. 7 v.

[Leonardo scheint aber hier nur eine Aufgabe gestellt zu haben, da eine Ausführung oder Beschreibung dieser Aufgabe nirgends zu finden ist. Hier ist wohl die Annahme zulässig, daß Leonardo an sehr stark wirkende Augengläser gedacht hat, die damals noch nicht hergestellt werden konnten, oder für die zu jener Zeit noch nicht die entsprechende Glasart bekannt war. D. V.].

[5]) M.-A, fol. 29 v.: „Deliochiale. -positenere liochiali. accierta distantia dalochio eriguardarvi ilsole chetti tora lauista persenpre“. (Ohne Figur).

„Wenn man die Brille in einer gewissen Entfernung vom Auge hält und in die Sonne sieht, wird sie dir das Gesicht für immer nehmen“.

[6]) M.-B, fol. 18 r: „. . .ochiali di vetro daneve. . .“. (Ohne Figur).

Wenn auch die Brille bereits lange vor Leonardos Zeiten als bekannt nachgewiesen ist, so können wir doch nicht feststellen, ob sie in seiner Zeit schon eine allgemeine Verbreitung gefunden hatte. Da die Ansichten hierüber verschieden sind, so sei hier der Ursprung der Brille, soweit über ihn geschrieben ist, und soweit er in den Rahmen der vorliegenden Arbeit hineingehört, kurz besprochen:

Die Ansichten über den Ursprungsort der Brille sind geteilt: Die einen, besonders Professor Oppert[1]), meinen, daß sie aus Indien stammt, während Professor Hirschberg[2]) diese Erfindung für Europa beansprucht. Nach ersterem soll sie in der chinesischen Literatur erwähnt sein und hiernach ihren Ursprung in Indien gehabt haben. Dies bezweifelt jedoch Professor Hirschberg wieder und ist der Ansicht, daß die Chinesen sie nicht vor ihrer Entdeckung in Europa gekannt hätten. Hier tauchte sie nachweislich gegen Ende des dreizehnten Jahrhunderts auf. Missner (Meissner), 1260—80, erwähnt ausdrücklich, daß alte Leute sich der Brillen bedienen[3]). Auch Roger Baco soll sie gekannt haben, denn er habe seinem Freund Goethals (bekannt als „le docteur Solemnel") eine solche zum Geschenk gemacht[4]).

Dieser habe sie in Pisa dem Spina[5]) gezeigt. Nun ist aber Dr. Vogl[6]) in seiner „Physik Roger Bacos" zu der Überzeugung gekommen, daß Roger Baco die Brille noch nicht gekannt habe, wenn er auch das Sehen durch Glaskörper anführe. Eine Stelle des Baco'schen Opus majus

---

Außerdem sind noch die Stellen M.-D, fol. 2 r, vergl. S. 34 der Arbeit, und M.-H, fol. 88 v, anzuführen, an denen von der Brille die Rede ist.

[1]) Vergl. Oppenheimer: „Die Erfindung der Brille", in „Zentralzeitung für Optik und Mechanik", 1908, und Dr. Laufers Artikel, in „Mitteilungen zur Geschichte der Medizin und der Naturwissenschaften", 1907, Nr. 4.

[2]) Vergl. Hirschberg, Gesch. der. Augenheilkunde, II. Buch, II. Teil, Leipzig, 1906, S. 266 ff.

[3]) Bock, Die Brille und ihre Geschichte, Wien, 1903, S. 8.

[4]) Vergl. Hirschberg, l. c., S. 275.

[5]) Allessandro della Spina, gest. 1313 zu Pisa (nach François Redis Brief in Spohns (Dr. Spon) Recherches curieuses d'antiquité. Dissertationes, Lion, 1683, 16. dissert.)

[6]) Vogl, Roger Baco, S. 78 u. 79.

bringt jedoch Dr. Vogl nicht, aus der nach Heller[1]) hervorgehen soll, daß man, wenn man das Glas (einen Kugelabschnitt) umkehre, die Gegenstände verkleinert sähe. Sollte hier, nach meiner Ansicht, Roger Baco vielleicht meinen, daß die Gläser in kleinerer Entfernung vom Auge gehalten die Gegenstände aufrecht und vergrößert[2]), in größerer Entfernung die Gegenstände umgekehrt und verkleinert zeigen, ohne daß er den Grund dieser Wirkungen erkannt hat? Auch Charles[3]) glaubt nicht, daß Roger Baco die Brille gekannt habe, ebenso Wilde[4]).

Aus der Zeit nach Roger Baco bis zu Leonardo ist über die Brille nichts bemerkenswertes zu finden. Nur erwähnt Hirschberg[5]), daß sie seit der Mitte des 14. Jahrhunderts etwas allgemeiner bekannt geworden sei, und daß die italienische Sprache seit Ende des 13. Jahrhunderts das Wort „ochiale“, gewöhnlich „ochiali“, für Brille habe.

Ferner sollen bereits 1482 Brillenmacher in Nürnberg gewesen sein.

Die Brille mit konkaven Gläsern ist auf einem Gemälde des Papstes Leo X. im Jahre 1517 von Rafael, also zwei Jahre vor Leonardos Tod, dargestellt[6]).

c) Regenbogen.

Wenn aus fast allen Aufzeichnungen und Beschreibungen Leonardos zu erkennen ist, daß er die Gesetze der Physik ganz besonders auf die täglichen Erscheinungen der Natur bezieht, so müßte man eigentlich auch annehmen, daß er eine der schönsten Naturerscheinungen, den Regenbogen, recht häufig zum Gegenstande seiner Erörterungen und Betrachtungen gemacht hat. Dies ist aber merkwürdigerweise nicht der Fall, sondern es sind im Gegenteil hierüber nur sehr wenig Aussprüche oder Darstellungen in Leonardos Werken zu finden.

---

[1]) Heller, Geschichte der Physik, Stuttgart, 1882, Bd. I, S. 201.

[2]) Vergl. hierzu die sehr eingehenden theoretischen Betrachtungen und Versuche von Ibn al Haitam. Siehe Wiedemann in Wiedemanns Annalen, 39, 1890. S. 565, und eine demnächst erscheinende ausführliche Abhandlung desselben Verf.

[3]) Charles, Roger Bacon, Paris, 1861, S. 302.

[4]) Wilde, Geschichte der Optik, Berlin, 1838, I. Teil, S. 85.

[5]) Hirschberg, l. c., S. 281—283.

[6]) i. l.

Wir ersehen aus einer allgemeiner gehaltenen Besprechung [1]) die Beobachtung, daß der Regenbogen einen größeren Kreisbogen besitzt, wenn die Sonne niedriger steht und einen kleineren, wenn sie höher steht. Leonardo gibt an derselben Stelle eine Aufzählung der Regenbogenarten, die aber nicht recht verständlich ist. Denn wenn er sagt, daß die eine Art aus dem einfachen Körper der Sonne entsteht, so muß doch in Betracht gezogen werden, daß auch die anderen Arten die Sonne zur Bedingung haben.

Die zweite Art soll die sein, die aus dem Sonnenkörper und den leuchtenden Rändern der Durchbrechung dieser Wolken hervorgeht, durch die die Sonnenstrahlen hindurchdringen. Hierdurch soll ein doppelter Bogen entstehen. Möglicher-

---

[1]) C.-A., fol. 97 v—a: „Dell arco celeste. Quando il sole è più bassa, l' arco è maggiore di circolo e quanto sarà più alto accaderà in contrario. Quando il sole è all' occidente, nascosto dopo alcun piccolo e denso nuvolo, allora tal nuvolo sarà circundato da rosseggiante splendore. Li archi celesti son di 4 sorte, delle quali l' una nasce dal simplici corpo del soli, l' altro nasce dal corpo del sole e dalli alluminati labbri della perforazione di quelli nuvoli, per le quali li razzi solari penetrano; e questa sarà doppio, cioè saran due archi, maggior l' uno dell' altro, intorno a un medesimo centro, de quali il maggiore fa di colorimenti e 'l minore nasce del sole per le linie a b c d e alla intersegazione de' razzi for dello spiracolo n, nel punto c; e l' arco maggiore à la intersegazione de sua razzi dentro alla spiracolo n, nel punto f, e i labbri di tale spiracolo della oscura nuvolo ànno splendore; e di tutto si darà la ragione a suo loco." (Ohne Figur.)

„Vom Regenbogen. Wenn die Sonne niedriger steht, hat der Bogen einen größeren Umfang, und wenn sie höher ist, wird das Gegenteil eintreten. Wenn die Sonne im Westen hinter irgend einer kleinen und dichten Wolke verborgen steht, dann ist diese Wolke von einem rötlichen Schein umgeben. Die Regenbogen zerfallen in 4 Arten, von denen die eine aus dem einfachen Körper der Sonne entsteht, die zweite aus dem Sonnenkörper und den leuchtenden Rändern der Durchbohrung dieser Wolken hervorgeht, durch die die Sonnenstrahlen hindurchdringen; und das wird etwas doppeltes sein, d. h. werden zwei Bögen sein, der eine größer als der andere, um denselben Mittelpunkt herum, von denen der größere Färbungen erzeugt [farbig erscheint] und der kleinere durch die Sonne auf den Linien a b c d bei der Durchschneidung der Strahlen außerhalb des Loches n im Punkte c entsteht; und der größere Bogen besitzt die Durchschneidung seiner Strahlen innerhalb des Loches n im Punkte f, und die Ränder eines solchen Loches der dunkeln Wolke haben Glanz; und von allem wird die Begründung an ihrer Stelle gegeben werden."

weise meint aber Leonardo hier nicht den doppelten Regenbogen, der bekanntlich sich aus dem Hauptregenbogen, der in gewöhnlicher Art entsteht, und aus dem Nebenregenbogen zusammensetzt, der von den Strahlen herrührt, die eine zweimalige innere Reflexion in den Wasserpartikelchen erleiden, vielleicht meint er auch wohl, daß ein Teil des Regenbogens durch dünne Wolkenränder hindurchleuchtet und auf dahinter befindlichen Wolken zu liegen scheint. Das ist aber eine falsche Ansicht, da ja der Regenbogen nicht durch die Wassertropfen ganz hindurchgeht, sondern durch Reflexion in diesen entsteht.

Wir sehen also hieraus, daß Leonardo zwar den doppelten Regenbogen kennt, aber keine Erklärung für seine Entstehung hat.

Wenn er an dieser Stelle von vier Arten spricht, so gibt er doch nur zwei an und hat wahrscheinlich die beabsichtigte Besprechung nicht beendet.

Die Beobachtungen am Regenbogen finden wir an einer anderen Stelle [1]). Er sagt hier, daß die Farben mitten im Regenbogen gleichen Abstand voneinander haben. Ferner weiß er, daß der Beobachter des Regenbogens zwischen letzterem und dessen Erzeugerin, der Sonne, stehen muß.

Eine Darstellung sei in Figur 87 [2]) gegeben, die jedoch aus einem anderen Manuskript stammt.

Nicht erklärlich ist eine weitere Stelle über den Regenbogen, die aber der Vollständigkeit wegen unten beigefügt sei [3]).

---

[1]) M.-E, im Deckel: „Licholori dimezò allarcho simistano infralloro. — L'archo ins e non ella pioggia ne etiam nellochio che llo vede benche sigieneri dalla pioggia dalsole edallochio. Larcho cielesste essenpre veduto dacquelli ochi liquali sinterponghano infralla pioggia elcor po delsole adunque stando ilsole alloriente el la pioggia alloccidente esso archo sigienera nella piog gia occidentale.“ (Ohne Figur.)

„Die Farben mitten im Bogen mischen sich miteinander. — Der Bogen an sich ist nicht im Regen und auch nicht im Auge, das ihn sieht, obgleich er durch den Regen, die Sonne und das Auge entsteht. Den Regenbogen sehen stets die Augen, die sich zwischen den Regen und die Sonne einschieben, so daß, wenn die Sonne im Osten und der Regen im Westen sich befindet, dieser Bogen in dem westlich gelegenen Regen entsteht.“

[2]) M.-F, fol. 67 v (Fig. 87).

[3]) C.-A., fol. 38 r—b: „Infra le spazio della pioggia si vede il rossore del sole, cioè de' nuguli interposti infra 'l sole e la pioggia. Mai l' onde

Auf Grund welcher Vorgänge nun eigentlich der Regenbogen entsteht, gibt uns Leonardo leider nicht, trotzdem wir wissen, daß eine Erklärung bereits von seinen Vorgängern aufgestellt worden ist. Denn außer den Alten, z. B. Aristoteles und Seneca[1]), haben sich Ibn Sina[2]), Ibn al Haiṯam und andere Araber, sowie Vitello[3]) und Roger Baco hiermit beschäftigt. Aristoteles spricht a. a. O. bereits von der Höhe des Bogens in bezug auf den jeweiligen Stand der Sonne.

Bei der Ausführlichkeit, mit der sonst Leonardo derartige Erscheinungen zu besprechen pflegt, ist es als bemerkenswert



Fig. 87.

zu bezeichnen, daß er sich mit dem Regenbogen so wenig beschäftigt hat, trotzdem er hierfür viele und ausführliche Quellen hatte.

B. Akustik.

Wenig zahlreich sind Leonardos Arbeiten auf dem Gebiete der Akustik. Dies ist auch leicht erklärlich, da wir ja wissen, daß die Gelehrten vor ihm und in seiner Zeit meist die Lehre vom Schall wenig eingehend behandelt haben.

interposte infra la pioggia e l' occhio à mostrano all' occhio il simulacro della obscurità d' essa pioggia e questo accade perchè il lato dell' onda non è veduto, nè vede [sic] la pioggia.“ (Ohne Figur.)

„Unterhalb des vom Regen eingenommenen Raumes sieht man das Sonnenrot, d. h. der Wolken, die zwischen die Sonne und den Regen zwischengelagert sind. Niemals zeigen die in den Regen eingelagerten Wellen dem Auge das Abbild der Finsternis dieses Regens, und das kommt daher, weil die Seite der Welle nicht gesehen wird, noch man den Regen sieht.“

[1]) Vergl. hierzu Vogl, Roger Baco, S. 81 u. 82 (Theodosius Saxonicus); Poske, Regenbogen bei Aristoteles, Zeitschr d. M. 28 (1883), hist. Abt., S. 134 f., sowie: Naturales quaest. liber I, Kap. 7.

[2]) Nach Wiedemann, Liber sanationis Kitâb Schifâ und dessen Auszug: Kitâb al Nagât. Ann. d. Physik, Bd. 39, 1890, S. 566 f.

[3]) Risner, Vit. opticae X, 64—84.

Aus manchen Stellen, die bereits bei der Optik angeführt sind, können wir entnehmen, daß Leonardo einen gewissen Zusammenhang zwischen beiden Erscheinungen annimmt, daß nämlich in beiden Fällen Bewegungen der Luft stattfinden. Die Bewegungen des Schalles sind wellenförmige und finden in Kreisen statt, wie wir schon früher näher dargelegt haben[1]).

Außerdem sei noch eine allgemeine Betrachtung von Leonardos Auffassung über die Welle gegeben, die bei einer Erörterung über Erscheinungen des Schalles zu finden ist[2]).

Er sagt, daß sie ein Eindruck (impressione) des Stoßes oder Aufpralles (percussione) ist, der zurückgeprallt ist. Er stellt sich also vor, daß durch den Schlag ein Eindruck gemacht ist, der dann wieder zurückgeht und dadurch eine Erhebung nach der entgegengesetzten Seite macht. Leider führt er diesen Gedanken nicht weiter aus, und es konnte auch keine Stelle gefunden werden, an der er hierüber eine Fortsetzung gibt.

Dann wäre ein Ausspruch zu erwähnen, der angibt, daß jeder Teil der Welle, der auf eine andere Welle trifft, in sie eindringt nach den Mittelpunkten ihrer Kreise[3]).

Den gleichen Gedanken spricht er noch einmal am Schlusse einer anderen Stelle[4]) aus, die aber hier vollständig erwähnt

---

[1]) Siehe 2. Kap. der Opt., Art und Weise der Fortpflanz. d. Spez., S. 39, sowie 3. Kap., Geradlinige Fortpflanzung, S. 80.

[2]) C.-A., fol. 84 v—a: „De onda.

L' onda è impression di percussion refressa, la qual sarà maggiore o minore, a proporzion della maggiore o minore percussione. L' onda mai è sola, ma è mista di tante altre onde, quanto son le inequalità che à l' obbietto, dove tale onda si genera." (Ohne Figur.)

„Die Welle ist [der] Eindruck eines zurückgeworfenen Stoßes, und sie wird größer oder kleiner sein je nach dem stärkeren oder schwächeren Stoße. Die Welle tritt niemals allein auf, sondern sie ist gemischt mit so vielen anderen Wellen, als Ungleichheiten sind, die der Gegenstand hat, von dem ausgehend eine solche Welle erzeugt wird."

[3]) C.-A., fol. 83 v—b: „Ogni parte dell' onda, che percote nell' altra onda, refrette in verso li centri delli loro cerchi." (Ohne Figur.)

„Jeder Teil der Welle, der in die andere einschneidet, wirft gegen die Mittelpunkte ihrer Kreise zurück [reflektiert gegen . . .]."

[4]) M.-A, fol. 61 r: „— benche. leuoci chepenetrano. quesstaria. sipartino. choncirchulari. movimenti dalle. lor. chagioni. (niente. dimeno. icirchuli. mossi.

werden muß, da sie im Anfange auf die Bewegungen der Luft durch die Stimme hinweist. Von besonderem Interesse ist

---

dadiuersi. principi. sisscontrano. insieme. sanza. alchuno. inpedimento. epenetrano. epassano. luno nellaltro) mantenendosi senpre percientro. le lor chagioni —

— Perche. intutti. ichasi. delmoto. lacqua. agran. chonformita. chollaria. io lalegero. peresenplo. alla. sopra. detta. propositione. Io. dicho. settu gitterai. nvn medesimo. tenpo. 2. picciole. pietre. alquanto disstanti luna. dallaltra. sopra. vn pelago. dacqua. esanza. moto. tuvederai. chavsare. intorno. alle. 2. dette. perchussioni. 2. separate quantita. dicirchuli. lequali. quantita. acressciendo. vengano asschontrarsi. insieme. epoi. anchorporarsi. insersegandosi. luncirchulo. chollaltro. senpre. mantenendosi. percientro. illochi. perchossi. dalle pietre. Ellaragion. sie. che benchelli apparisscha qualche dimosstration dimovimento. lacqua. nonsi parte del suo sito. perche. laperiture. fattale. dalle. pietre. subito. sirichiuse. equal moto. fatto. dal subito. aprire. esserrare dellacqua. fa. illei vncierto. riscotimento. chessi po. piv. tossto. dimandare. tremore chemovimento. echequel chio. dicho. tisi. facci. piv. manifessto. poni mente. aquelle fesstuche. che perlor. legiereza. stanno sopra. lacqua che perlonda. fatta. sotto. loro. dallauenimento decirchuli. nonsi partan. pero delloro. primo. sito essendo. adunque. quessto tal risentimento. dacqua. piv tossto. tremore chemouimento. nonpossan perrisschontrarsi. ronpere. lun laltro perche avendo. lacqua. tutte lesue. parti. duna. medesima. qualita. eneciessario chelle parti apichino esso. tremor luna. allaltra. sanza mutarsi dilorloco perche stando. lacqua. nel suo. sito. facil mente po. pigliare esso tremore dalle parti vicine eporgierle allaltre vicine senpre diminvendo sua potentia. insino alfine —.“ (Fig. 88.)

(Die Übersetzung ist von M. Herzfeld, L. d. V. u. s. w., Jena, 1906, S. 41, mit einzelnen Verbesserungen.)

„Obwohl die Stimmen, die diese Luft durchdringen, sich in kreisförmigen Bewegungen von ihrer Ursache trennen — nichtsdestoweniger begegnen die Kreise, die sich von verschiedenen Ausgangspunkten her bewegen, einander ohne irgendwelche Hinderung und durchdringen und passieren einer den anderen — indem sie immer ihre Ursache als Mittelpunkt festhalten.

Weil in allen Fällen der Bewegung das Wasser große Gleichheit [Gleichartigkeit] mit der Luft hat, werde ich es, des Beispiels halber, mit oben genanntem Satz verbinden. Ich sage, wenn du zu gleicher Zeit zwei kleine Steine, ein bischen entfernt einen vom anderen, in einen See von Wasser, das ohne Bewegung, wirfst, wirst du rings um die zwei besagten Auftreffpunkte zwei getrennte Mengen von Kreisen hervorgerufen sehen, welche Mengen, wachsend, sich schließlich begegnen, dann sich einander einverleiben, indem ein Kreis den anderen durchschneidet, während sie immer als Mittelpunkt die Orte festhalten, wo die Steine aufschlugen. Und der Grund davon ist, daß, obschon dort sich ein Anschein von Bewegung zeigt, das Wasser sich nicht von seinem Platze rührt, weil die Öffnungen, die ihm von den Steinen gemacht worden sind, sofort sich wieder schlossen, und diese Bewegung des plötzlichen Öffnens

aber diese Stelle für uns, weil hier ein jetzt noch allgemein angewandtes Experiment bis ins kleinste beschrieben wird, nämlich zwei Steine zu gleicher Zeit ins Wasser zu werfen und dann zu beobachten, wie jeder von ihnen eine Reihe fortschreitender Wellen erzeugt, die sich treffen und durchdringen, ohne sich gegenseitig zu zerstören. Leonardo hat richtig erkannt, daß sich das Wasser selbst nicht mit fortbewegt, sondern nur eine auf- und abgehende Bewegung macht.

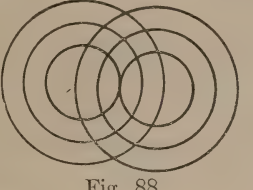


Fig. 88.

Er wendet das noch heute übliche Mittel an, um dies zu beweisen, nämlich, daß Strohhalmstückchen, die auf das Wasser gestreut werden, ihre relative Lage beibehalten (festuca = Strohhälmchen, Holzsplitterchen). (Siehe Fig. 88, die der Fig. 89 gleicht, vergl. die Anmerkung.)

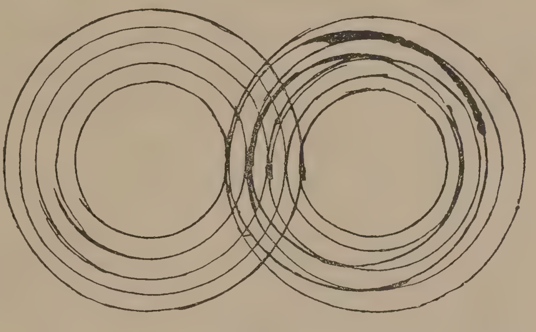


Fig. 89.

---

und Schließens des Wassers verursacht in ihm eine gewisse Erschütterung, die man viel eher als ein Zittern denn als eine Bewegung ansprechen kann. Und damit, was ich dir sage, sich dir offenbarer mache, gib acht auf jene Splitterchen, die wegen ihrer Leichtigkeit auf dem Wasser bleiben, [und beachte] daß durch die Welle, so unter ihnen durch das Herankommen der Kreise entsteht, dennoch nicht ihren früheren Ort verlassen Nachdem also diese ganze Erschütterung des Wassers viel eher ein Erzittern als eine Bewegung ist, können sie [die Kreise] sich beim Begegnen nicht einer den anderen brechen; denn weil das Wasser alle seine Teile von der gleichen Qualität hat, ist es notwendig, daß die Teile selbiges Erzittern einander mitteilen, ohne sich von ihrem Orte zu rühren, weil das Wasser, indem es auf seinem Platze bleibt, leicht dieses Zittern von dem benachbarten Teile übernehmen kann, und sie dem andern benachbarten weitergeben, immer dessen Kraft vermindernd, bis zum Aufhören."

(Eine weitere bildliche Darstellung ist in Fig. 89 nach C.-A., fol. 300r—b, gegeben.)

Ehe nun auf den weiteren Gang der Schallwellen eingegangen wird, sei hier erst Leonardos Ansicht über das Entstehen eines Tones oder Geräusches wiedergegeben. Er sagt, daß ein Ton oder Geräusch durch einen Körper mittels Stoßes hervorgerufen wird, und dieser Stoß muß wiederum durch eine Bewegung erzeugt werden[1]). Also ist es nur möglich, einen Ton durch eine Bewegung hervorzubringen. Dies spricht er auch an einer anderen Stelle[2]) aus und gibt hier den Fundamentalsatz, daß keine Bewegung ohne Kraft ausgeführt werden kann.

Wie nun der Schall entsteht, deutet er an einer anderen Stelle[3]) an, daß nämlich die Glocke (also allgemeiner gesagt: der Gegenstand) durch den Schlag in Schwingungen versetzt wird, wodurch der Ton oder Schall entsteht. Diese Schwin-

---

[1]) C.-A., fol. 135 v—b: „De l romore.

Il romore è causato da' corpi mediante il colpo causato dal moto.“ (Ohne Figur.)

„Das Geräusch wird durch Körper mittels des Stoßes [oder Schlages] hervorgerufen, der durch Bewegung verursacht wird.“

[2]) M.—A, fol. 34 r: „voce non fia sanza. moto. emoto. nosara mai. sanza forza.“ (Ohne Figur.)

„Es entsteht kein Laut ohne Bewegung, und es gibt keine Bewegung ohne Kraft.“

[3]) M.—A, fol. 22 v: „— Ilcolpo. nella champana. lasscia. dopo. se. lasua. similitudine. inpresa come il sol nellochio ollodore innellaria ma e dauedere sella similitudine desso cholpo. rimane inella canpana onellaria ecquesto. conoscierai ponendo dopo esso. cholpo. lorechio. tuo. alla superfitie della canpana.“ (Ohne Figur.)

„Der Schlag [läßt in] der Glocke [nach M. Herzfeld] läßt hinter sich sein Abbild zurück, eingedrückt wie es die Sonne [in] dem Auge ist oder der Geruch [in] der Luft, aber es muß nachgesehen werden, ob das Abbild des Schlages in der Glocke bleibt oder in der Luft; und dies wirst du erkennen, wenn du nach selbigem Schlage dein Ohr an die Oberfläche der Glocke legst.“

In ähnlicher Weise spricht sich Leonardo noch an einer anderen Stelle aus, nämlich: C.-A., fol. 332 v—a. Bemerkenswert ist hier der Schluß, daß nämlich die Schwingungen der Glocke und des Tones sofort aufhören, sobald man auf diese die Hand legt. Es heißt dort: „onde noi vediamo che, dato il botto e posta la mano alla cosa battuta, subito è cessato il sono.“ (Ohne Figur.)

„Daher sehen wir, daß, nachdem der Schlag ausgeführt ist, und nachdem die Hand auf den [an]geschlagenen Gegenstand gelegt wurde, plötzlich der Ton aufgehört hat.“

gungen teilen sich dann der Luft mit, während die Glocke noch weitere, nur durch Anlegen des Ohres wahrnehmbare Bewegungen macht.

Leider finden wir nirgends eine Erweiterung dieses Gedankens, um zu erkennen, wie er sich die Übertragung der Bewegung der in Schwingung versetzten Teilchen wohl denkt.

Zwar spricht er einmal von der Ausbreitung des Schalles, aber dieser kurze Ausspruch [1]) handelt von der Ausbreitung in geraden, gekrümmten und gebrochenen Linien. Dies kann er wohl nur so gemeint haben, daß der Schall, der z. B. durch parallel stehende Mauern eine bestimmte Richtung erhalten hat, sich nach dem Aufhören der Mauern nach allen Seiten, also auch wieder zum Teil rückwärts, ausbreitet. Der Schall kann also auch um Gegenstände herumgehen. Dadurch wird uns nun eine Figur erklärlich, die er bei dem Vergleich der Wirkungen des Lichtes, des Schalles und des Magnetismus gibt [2]). Es ist dies die fünfte der in Fig. 52 reproduzierten Darstellungen, aus der wir erkennen können, daß der durch einen Hammerschlag hervorgerufene Schall durch eine Öffnung in der gegenüberliegenden Wand hindurchgeht und sich nach dem Durchgange in eine Reihe von Schallstrahlen teilt. Hier kann also der eben zitierte Ausspruch, daß der Schall auch in gebrochenen Linien weitergeht und nicht in seiner Obliegenheit behindert wird, Anwendung finden.

Bei dem unten gegebenen Ausspruche muß aber auf eine sehr wichtige Sache besonders hingewiesen werden, daß nämlich Leonardo von den „Spezies" der Stimmen spricht. (Eine weitere Stelle, an der von der „Spezies" der Stimme, des Tones oder des Geräusches die Rede ist, konnte ich leider nicht finden.) Hierdurch setzt sich Leonardo in Gegensatz zu den Alten und zu seinen Vorgängern. Denn wir wissen,

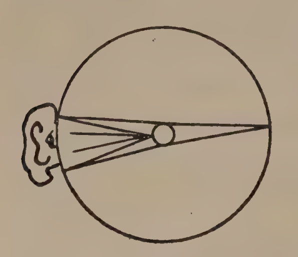
---

[1]) M.-A, fol. 19r: „lorechio. ricieve lesspetie delle. voci. perlinie rette echurve erotte enessuna tortura poronpere ilsuo ofitio." (Ohne Figur.)

„Das Ohr empfängt die Gattungen der Stimmen in geraden, gekrümmten und gebrochenen Linien, und keine Windung [Drehung, Ablenkung] kann deren Aufgabe behindern."

[2]) C.-A., fol. 126r—a; siehe S. 100, Fig. 52, dieses Werkes.

daß z. B. Roger Baco[1]) im strengen Anschluß an Aristoteles ganz besonders auf den „Unterschied in der Spezies, die zum Auge kommt, und der bewegten Luft, deren Wirkung sich zum Gehöre fortpflanzt“, hinweist. Und, wie Roger Baco dann logisch beweist, kann es sich beim Schall nicht um die „Wirkung einer Spezies auf das Organ, sondern um den Vorgang selbst“ handeln.



Figur 90.

Daß Leonardo auch die Erscheinungen der Fortpflanzung des Schalles in Betracht gezogen hat, konnte nur an einem Ausspruche festgestellt werden. Und dieser Ausspruch[2]) ist auch nicht ganz klar und deutlich; aber man kann seinen Sinn deuten, wenn auch die letzten Worte wieder Unklarheit in diesen Sinn hineinbringen. Außerdem ist der Ausspruch als eine Frage aufgeworfen, doch läßt er schließen, daß Leonardo etwas richtiges gemeint hat.

Der Sinn ist nun folgender: Ein gesprochenes Wort geht durch die Luft in einem Kreise (siehe die beistehende Figur!), breitet sich also über eine verhältnismäßig große Fläche aus. Wenn es nun an das Ohr eines Menschen gelangt, so müßte eigentlich, da doch das Ohr nur ein kleiner Teil dieser großen Fläche ist, auch nur ein der Größe des Ohres entsprechender Teil des Wortes in das Ohr hineindringen. Aber dies ist nicht der Fall, denn das Wort wird doch ganz vom Ohre aufgenommen.

---

[1]) Vergl. Vogl, R. Baco, S. 89, und R. Bacos Op. mai. 88, 56f., 72f., 418f., 527.

[2]) C.-A., fol. 199 v—b: „Se tutto il circulo, fatto per l' aria dal sonito della voce dell' omo, porta con seco tutta la parola detta, perchè la parte d' esso circulo, percossa nell' orecchio dell' altro omo non lascia in tale orecchio la parte d' essa parola e non è il tutto.“ (Figur 90.)

„Wenn der ganze Kreis, der durch die Luft hindurch von dem Klange der menschlichen Stimme gemacht wird, mit sich das ganze gesprochene Wort trägt, [warum] läßt der Teil dieses selben Kreises, der in das Ohr des anderen Menschen gedrungen ist, in diesem Ohre nicht den Teil dieses Wortes zurück und ist nicht das ganze?“ [und es ist doch nicht der ganze Kreis].

Leider konnte ich nicht eine Fortsetzung oder die Antwort auf die hier gestellte Frage finden, aus der man erkennen könnte, wie Leonardo diese Erscheinung erklärt.

Die Reflexion des Schalles ist nach Leonardos Ansicht mit der des Lichtes zu vergleichen, indem er die Reflexion eines Gegenstandes im Spiegel als Beispiel anführt[1]).

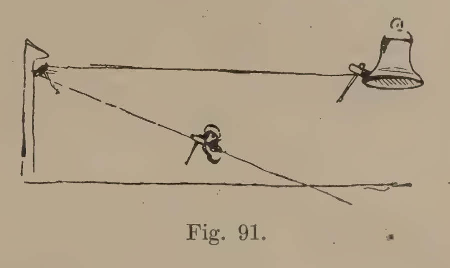


Fig. 91.

Noch ein anderer Ausspruch[2]) handelt von der Reflexion des Schalles. Aus der unten angeführten Stelle geht hervor, daß er auch für den Schall eine Gleichheit des Einfalls- und Reflexionswinkels annimmt. (Siehe Fig. 91.)

Eine weitere Stelle[3]) handelt von der wiederholten Re-

[1]) M.—A, fol. 19 v: „la voce. perchossa. nellobbietto. tornera. allorechio per una. linia ditale. obbliquita. qualfia. lalinia. della incidentia cioe la linia che porta la uoce dalla sua. cagione. allocho dove essa. voce. e atta. ariformarsi. effa questa. voce assimilitudine. duna chosa. veduta. nelospechio. laquale ettutta pertutto lospechio. ettutta inella. parte.“ (Ohne Figur.)

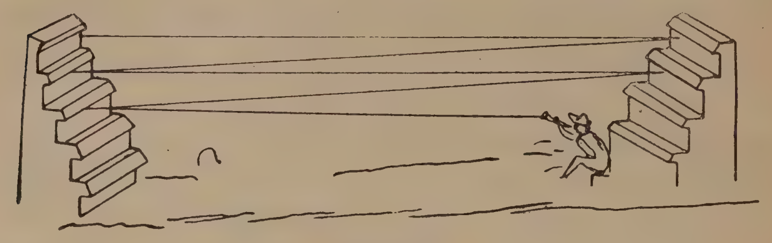
Nach Herzfeld: „Die Stimme, die an ein Objekt anprallt, wird zum Ohre auf einer Linie von gleicher Neigung zurückkehren, als die Einfallslinie war, nämlich die Linie, die die Stimme von ihrer Entstehungsstelle zum Orte hinträgt, wo diese Stimme sich wieder zu bilden vermag [wo sie aufgefangen wird], und es macht diese Stimme ähnlich wie eine Sache, die man im Spiegel sieht, welche Sache ganz auf dem ganzen Spiegel ist und ganz in jedem Teile.“

[2]) M.—C, fol. 16 r: „De moti chorporei. labuoce. decho. dicho. essere. refressa. dallaperchussione. allorechio. chome. allochio. leperchussioni. fatte. nellisspechi. dalle spetie delliobietti essichome. lesimilitudine. chadente. dallacosa. allo spechio edda osspechio. allochio. infraequali. angoli. Cosi infraequali. ango li. chadera. erisaltera. lauoce nellachoncavita. dalla prima perchu sione. allorechio —“ (Fig. 91.)

„Von körperlichen Bewegungen. Ich sage, daß die Stimme des Echos durch den Aufstoß nach dem Ohr reflektiert wird, wie nach dem Auge die „Aufstöße“, die auf den Spiegeln durch die Spezies der Gegenstände gemacht werden; und wie die Bilder vom Gegenstande auf den Spiegel fallen vom Spiegel zum Auge in gleichen Winkeln [reflektiert werden], ebenso wird die Stimme unter gleichen Winkeln in die Höhlung einfallen und von ihr nach dem ersten Auftreffen zum Ohre zurückspringen.“

[3]) M.-B, fol. 90 v: „braccia 150 daluno allaltro mvro lauoce chescie

flexion einer Stimme oder Tones, der mittels eines Hornes erzeugt ist. Aus der dabeistehenden Abbildung (Fig. 92) ist



Figur 92.

zu erkennen, daß der Ton mehrere Male zwischen zwei Wänden hin- und hergehen soll. Wichtig ist hierbei Leonardos Er-

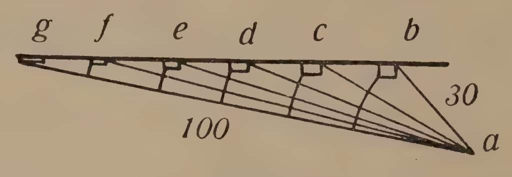


Fig. 93.

kenntnis, daß die Intensität des Tones von Reflexion zu Reflexion abnimmt.

Weniger klar ist jedoch eine andere Stelle[1]), an der er

delcorno siforma nela contraposta pariete edili risalta laseconda edalla seconda alla prima come una bala che balza fra 2 mvri che diminvise ibalzi e cosi diminvisscie le voce.“ (Fig. 92.)

„150 Ellen von einer zur anderen Mauer. Die Stimme, die von dem Horn ausgeht, bildet sich an der gegenüberliegenden Wand und springt von hier zur zweiten zurück und von der zweiten zur ersten, wie ein Ball, der zwischen zwei Mauern springt, und dessen Sprünge abnehmen, ebenso vermindert sich die Stimme.“

[1]) M.—I, fol. 129 v: „Se vna voce decho in 30 braccia risponde in 2 tenpi inquanto rispondera vna chessia lon ta 100 braccia.

Se vna boce decho mi rissponde in 2 tenpi 30 braccia di spatio con 2 gradi di poten [potenza] di strepido inquantigradidistrepito mi simostera ella in 100 braccia.“ (Fig. 93.)

„Wenn eine Stimme des Echos bei 30 Ellen antwortet in zwei Zeiten, in wieviel [Zeiten] wird eine antworten, die 100 Ellen entfernt ist?

Wenn eine Stimme des Echos mir in zwei Zeiten bei 30 Ellen Zwischenraum mit zwei Graden der Kraft des Geräusches antwortet, in wieviel Graden des Geräusches wird sie sich mir bei 100 Ellen zeigen?“

Aufgaben stellt. Nehmen wir an, daß er mit „zwei Zeiten“ zwei Zeiteinheiten, vielleicht zwei Sekunden, meint, so ist ja diese Aufgabe verständlich und leicht löslich. Dagegen ist die zweite Frage, die wohl die Stärke des Schalles behandelt, so nicht lösbar.

Über die Fortpflanzung des Schalles in anderen Medien als der Luft hat sich Leonardo nicht direkt ausgelassen. Aber man könnte vielleicht aus einem Ausspruche[1]) den Schluß ziehen, daß er bereits erkannt hatte, daß der Schall in dichteren Medien schneller oder vielmehr besser sich fortpflanzt als in der Luft. An dieser Stelle spricht er zuerst von einem Hörrohr[2]), dessen unteres Ende in das Wasser eingetaucht wird, d. h. er spricht von einem Aufsetzen eines Hörrohres auf das Wasser, wodurch man dann imstande ist, weit entfernte Schiffe zu hören. Ebenso kann man einen weit entfernten Menschen gehen hören, wenn man ein solches Hörrohr auf die Erde setzt. Irgendeine Schlußfolgerung ist aber nicht zu finden.

Von großem Interesse ist dann Leonardos Beobachtung über die Resonanz, daß z. B. eine Glocke in Schwingungen gerät und mittönt, sobald eine gleichklingende Glocke angeschlagen wird. Dasselbe sagt er von der Saite der Laute[3]).

---

[1]) M.-B, fol. 6r: „sefermerai iltuonavilio emetterai latesta duna cierbottana inellacqua elaltra stremita. ti metterai alorechio. sentirai inavili lontani assai datte e quel medesimo farai ponendo ladetta testa dicrbottieana in [mare?] [nach dem Herausgeber] tera essentirai chipassa lontano datte.“ (Ohne Figur.)

Nach Herzfeld: „Wenn du dein Schiff anhalten wirst und den Kopf eines Hörrohres auf das Wasser setzen und das andere Ende an dein Ohr, so wirst du Schiffe hören, die recht weit von dir entfernt sind.

Und das gleiche wirst du machen, wenn du besagten Kopf des Hörrohres auf die Erde stellst, und du wirst hören, wer weit von dir vorüber geht.“

[2]) Über Hör- und Sprachrohr vergl. den Schluß dieses Kapitels.

[3]) M.—A, fol. 22v: „ilcolpo dato nella canpana rispondera. emovera alquanto vnaltra. canpana simile asse ella chorda sonata dunliuto risspondera emovera una altra simile corda di simile boce inunaltro liuto ecquesto. vederai cholporre. una paglia sopra lacorda simile alla sonata.“ (Ohne Figur.)

„Der an eine Glocke gegebene Schlag wird antworten und wird eine andere, ihr gleiche Glocke ein wenig in Bewegung setzen, und die angeschlagene Saite einer Laute wird antworten und eine andere ähnliche Saite in Bewegung setzen, die von ähnlicher Stimmung in einer anderen Laute ist.

Besonders beachtenswert ist der Schluß dieses Ausspruches, weil er dort bemerkt, daß man das Mitschwingen der vorher ruhenden Saite durch einen auf diese Saite gesetzten Strohhalm erkennen kann. Wir finden hier also das jetzt noch im physikalischen Unterricht übliche Experiment mit demselben Anschauungsmittel, dem bekannten Reiterchen.

Wie schon vorher bemerkt, vergleicht Leonardo oft die Wellen des Lichtes mit denen des Schalles. Selbstverständlich vergleicht er auch die Geschwindigkeiten beider, und zwar wiederum durch solche Erscheinungen, die wir noch heute benutzen, wenn wir diesen Unterschied kennen lernen sollen.

Er weiß, daß der Schall sich langsamer fortpflanzt als das Licht[1]), und beweist seine Ansicht durch Anführung der Beobachtung eines abgefeuerten Geschützes[2]) und des Gewitters[3]), wenn er auch in der hier angeführten Stelle veloce und tardo verwechselt.

Aus letzterer Beobachtung heraus schließt er umgekehrt, daß man nun auch die Entfernung eines Blitzstrahles, also des Gewitters selbst, bestimmen kann, da man aus den Erscheinungen bei einem Echo weiß, wie lange der Schall zur Zurücklegung einer gewissen Strecke braucht. Zwar ist die

---

Dies wirst du sehen, wenn du einen Strohhalm auf die Saite legst, die der ähnlich ist, die angeschlagen wurde.“

[1]) C.—A., fol. 204v—a: „Come l' occhio e 'l razzo de 'l sole e la mente sono i più veloci moti che sieno.“ (Ohne Figur.)

„Wie das Auge und der Strahl der Sonne und der Geist die schnellsten Bewegungen sind, die vorhanden sind.“

[2]) C.-A., fol. 375r—c: „Il tronitro della bombarda fa duė moti per l' aria, di varie velocità; delli quali il più veloce è quel che porta la impressione del sonito suo, l' altro, più tardo, è quel che porta l' onda generata dalla percussione della fiamma, e il terzo è il moto della ballotta da lei gittata.“ (Ohne Figur.)

„Der Donner der Kanone erzeugt zwei Bewegungen von verschiedener Geschwindigkeit durch die Luft, von ihnen ist die schnellere [eigentlich ‚langsamere‘] diejenige, die den Eindruck ihres Schalles weiterträgt, die andere langsamere [eigentlich „schnellere“] ist diejenige, die die durch Erschütterung der Flamme erzeugte Welle weiterträgt, und die dritte ist die Bewegung der von ihr fortgestoßenen Kugel.“

[3]) C.-A., fol. 213r—a.

angeführte Stelle[1]) nicht ganz klar, aber dies dürfte doch ihr Sinn sein.

Wie wir in diesem Kapitel gesehen haben, sind einzelne Beobachtungen Leonardos wissenschaftlicher Natur und werden experimentell bewiesen. Es fragt sich nun noch, welche Instrumente wissenschaftlicher Art ihm auf akustischem Gebiete außerdem bekannt waren. Hier wäre wohl der Monochord anzuführen, den er an einer Stelle[2]) erwähnt. Aber leider ist diese Stelle an sich völlig unverständlich und nur erwähnenswert, weil sie vom Monochord spricht und noch weitere Musikinstrumente anführt[3]). (Fig. 94.)



Fig. 94.

---

[1]) M.—A, fol. 19r: „possibile. e. achonossciere. cholorechio. ladistantia. duno tono. vedendo. inprima. ilsuo. lanpegiare perla similitudine della boce decho.“ (Ohne Figur.)

„Es ist möglich, mit dem Auge die Entfernung eines Donners [Blitzes] [tono = tuono] zu erkennen, indem man zuerst sein Aufleuchten sieht, durch die Ähnlichkeit der Stimme des Echos.“

[2]) M.-Br. M., 136a (nach J. P. Richter, Bd. II, § 1130): „Tanpani sonati come il monacordo o voi dolzemele;

Qui si fa una rota di canne a vso di tabelle con vn circulo mvsicale detto canone, che si canta a quattro e ciascū cantore canta tutta la rota, e però fo io qui vna rota cō 4 denti che ogni dente per se fa l' ofitio d' un cantore.“ (Fig. 94.)

„Pauken, die wie der Monochord oder die sanfte Flöte gespielt werden. Hier macht man ein Rad aus Stäben nach der Art der Schlagbretter mit einem musikalischen Rundgesang, der Kanon heißt, der zu Vieren gesungen wird; jeder Sänger singt den ganzen Rundgesang. Daher mache ich hier ein Rad mit vier Zähnen, so daß jeder Zahn für sich den Dienst eines Sängers macht.“

[3]) Hier ist es wieder ganz besonders zu bedauern, daß die englische Gelehrtenwelt immer noch keine Anstalten getroffen hat, die Manuskripte Leonardos zu kommentieren und der Öffentlichkeit zugänglich zu machen. Die fleißige Zusammenstellung von J. P. Richter kann leider kein Bild davon geben, ob die in England befindlichen Werke Leonardos auch aus Einzelaufzeichnungen ohne inneren Zusammenhang bestehen, oder ob sie zusammenhängende Schriften sind. Es ist schon verschiedentlich den Engländern seitens namhafter Gelehrter der Vorwurf gemacht worden, daß so viele und so wertvolle Geschichtswerke in den verschiedenen Sammlungen schlummern und kein Versuch gemacht wird, sie der Mitwelt kund zu geben.

Wie schon eben gesagt, ist es gerade an der vorliegenden Stelle von

Wir wissen ferner, daß schon zu Leonardos Zeit der Orgelbau in hoher Blüte stand, so sei hier eine Stelle[1]) aus dem Codex Atlanticus angeführt, an der deutlich zwei Flöten einer Orgel oder eines ähnlichen Instruments zu erkennen sind, siehe Fig. 95. Der in der Nähe dieser Abbildung befindliche Text spricht auch von Tönen einer Trompete und einer Schalmei. Wenn auch der Anfang dieses Ausspruches nicht recht verständlich ist, da nämlich das vorher Zugehörige fehlt, so kann man aber aus dem weiteren Texte leicht erkennen, daß es sich um

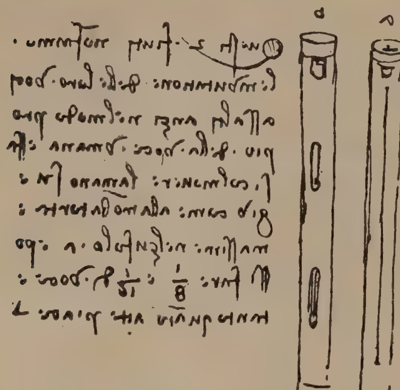


Fig. 95.

Wichtigkeit, ob sie mit anderen Aussprüchen in Zusammenhang steht oder nicht.

Denn wir wissen, daß unter „tabelle" ein sogenanntes „Schlagbrett" zu verstehen ist, das in den Kirchen armer Gemeinden, die nicht in der Lage sind, für ihre Kirche eine Glocke anzuschaffen, zum Zusammenruf der Gemeindemitglieder diente. Solche „Schlagbretter" sind z. B. noch in einzelnen Gegenden Rußlands im Gebrauche.

Nach der vorliegenden Stelle scheint es, als ob durch ein Rad mehrere Klöppel hintereinander in Bewegung gesetzt werden sollen, und daß die einzelnen Schlagbretter verschiedene Töne geben sollen. Nur ist es nicht verständlich, wie hier ein „musikalischer Rundgesang" entstehen soll.

Auch wäre es nicht unmöglich, daß Leonardo mit dem „Rad mit vier Zähnen" einen Teil einer Orgel meint, mit dessen Hilfe z. B. jedesmal ein ganzes Register ein- oder ausgeschaltet wird. Dann könnte man unter „tabelle" vielleicht das „Register" einer Orgel verstehen.

[1]) C.-A., fol. 397r—b: „Questi due fiuti non fanno le mutazione delle loro voci a salti, anzi nel modo propio della voce umana; e fassi col movere la mano su e giù, come alla tromba torta, e massime nel zufolo a; e possi fare $^1/_8$ e $^1/_{16}$ di voce, e tanto quanto a te piace." (Fig. 95.)

„Bei diesen beiden Vorrichtungen [?] treten nicht die Änderungen ihrer Stimmen sprungweise auf, sondern in derselben Weise wie bei der menschlichen Stimme; und dies geschieht beim Auf- und Abwärtsbewegen der Hand wie bei der gewundenen Trompete und am meisten in der Schalmei a; und es kann gemacht werden $^1/_8$ und $^1/_{16}$ der Stimme, gerade wie du es willst."

das Hervorrufen verschieden hoher Töne auf diesen Instrumenten handelt durch Auf- und Abwärtsbewegen der Hand z. B. an der Trompete. Nicht unmöglich könnte es aber auch sein, daß von einer geschlossenen und einer offenen Orgelpfeife gesprochen werden sollte, also der gedackten und ungedackten Pfeife. Diese Annahme hätte ihre Berechtigung durch die beiden Proportionen des Schlußsatzes, in dem das Oktavenverhältnis angedeutet ist. Denn daß er durch die Angabe der beiden Verhältniszahlen die Länge der Töne gemeint haben soll, ist nicht gut anzunehmen.

Zum Schlusse dieses Kapitels ist nun die Frage zu beantworten, inwieweit Leonardo von seinen Vorgängern und den Alten beeinflußt worden ist, und was er auf dem Gebiete der Akustik selbst geschaffen hat.

Hier kommen in der Hauptsache Aristoteles und Pythagoras in Betracht. Letzteren zitiert auch Leonardo einmal [1]) und spricht an dieser Stelle von den „Proportionen", die Pythagoras in seiner Musik angewendet hat. Daß Leonardo beider Arbeiten gekannt hat, ist ja bereits verschiedentlich im vorstehenden bewiesen. Nur ist es merkwürdig, daß er an keiner Stelle in seinen Aufzeichnungen deren Ansichten über den Schall und das Hören selbst angeführt hat.

Seine Erkenntnis, daß der Ton oder der Schall vom Schlage herrührt, hat er von Avicenna übernommen, da wir wissen, daß dieser im sechsten Kapitel des zweiten Teiles „De sensu audiendi" seines Opus egregium vom Schalle spricht, der „nur bei Schlagen und Zerreißen entsteht u. s. w." Die Ursache, wegen der der Ball zurückspringt, ist auch die Ursache der Zurückwerfung der Luft, also auch des „„tinnitus"" [des Echos, des Klingens?]. Die Bewegung der Luft ist dabei ebenso wie die Bewegung des Wassers" [2]).

---

[1]) C.—A., fol. 267r—a: „In queste 2 regole, çioè di colpo e di forza, si può adoprare le proporzioni, che Pictagora usò nella sua musica." (Ohne Figur.)

„In diesen beiden Regeln, d. h. vom Schlag und von der Kraft, kann man die Proportionen anwenden, die Pythagoras in seiner Musik gebrauchte."

[2]) Diese Anführung ist Winter, Avicennas Opus egregium de anima, entnommen. München, 1903, S. 41 ff.

Auch Qazwînî kommt hier in Betracht[1]).

Über die verschiedene Fortpflanzung des Schalles und des Lichtes hatte bereits Aristoteles, Roger Baco u. a. geschrieben[2]).

Von den Instrumenten ist, wie wir wissen, der Monochord des Pythagoras im Mittelalter viel bekannt gewesen[3]). Von ihm kannte er auch die Versuche über die Beziehungen zwischen Länge, Spannung und Stärke der Saite und der Tonhöhe, ferner über die Konsonanz und über das Verhältnis der Schwingungszahlen der Töne.

Wie schon oben erwähnt, war die Orgel schon zu Leonardos Zeit sehr vervollkommnet.

Auch soll Vitruv bereits Hörrohre zur Unterstützung des Gehöres gekannt haben. Dieses Hörrohr heißt bei Leonardo „cierbottana“ und ist gleich dem französischen Worte „la sarbacane“. Letzteres heißt auch „Sprachrohr“[4]). Aber ein solches kann auch Leonardo nicht gemeint haben, wenigstens ist nirgends in seinen Werken eine derartige Verwendung zu finden. Die Hörrohre wurden in dieser Zeit „Sarbatana“ genannt.

C. Wärme.

Bei der Lehre von der Wärme ist zu beachten, daß zu Leonardos Zeiten das Wissen hierüber sehr gering war und nur wenige Erscheinungen in der Natur beobachtet und behandelt worden sind. Auch wurden diese Erscheinungen z. T. falsch erklärt, da, wie wir wissen, hierüber die mittelalterlichen Anschauungen meist auf falscher Basis beruhten.

Es sei hier darauf hingewiesen, daß die Aufzeichnungen Leonardos aus der Meteorologie nicht in diesem Werke berücksichtigt wurden, da sie in vorzüglicher Weise durch M. Baratta in seinem Buche: Leonardo da Vinci ed i Problemi della Terra, Turin, 1903, behandelt sind.

---

[1]) Ethé, Die Kosmographie von El-Qazwîni. Leipzig, 1868, S. 201.

[2]) Vergl. Vogl, R. Baco, S. 90.

[3]) Vergl. Wiedemann, Über das Experiment i. A. u. M., S. 6.

[4]) Vergl. zu Sprachrohren: Klee, Die Geschichte der Physik an der Universität Altdorf bis zum Jahre 1650, Erlangen, 1908, S. 155. Es ist hier von dem Werke des Franzosen Jean Leurechon (1591—1670), „Recréations mathématiques“, die Rede, in dem die „Sarbatana“ angeführt wird.

Hier mögen nur einzelne, speziell physikalische Erscheinungen angeführt werden.

Das Wesen der Wärme hat Leonardo nicht erkannt, trotzdem Roger Baco doch schon den Beweis zu geben versucht hatte, daß Wärme durch Bewegung entsteht[1]). Leonardo hat zwar Roger Baco und dessen Werke gekannt[2]), aber diesen Satz nicht übernommen.

Woher die Wärme stammt, sagt er ganz kurz an einer Stelle[3]), nämlich vom „Leuchten". Gewiß meint er hiermit das Leuchten der Sonne oder der Flammen, also daß diese selbst die Ursachen der Wärme sind.

Vielfach sind die Betrachtungen über die Flamme selbst, besonders über die einer Kerze[4]). Er gibt hier schon Einzelheiten in bezug auf die einzelnen, vom Auge wahrzunehmenden Teile innerhalb einer solchen Flamme. Auch von „tönenden" Flammen ist an einer weiteren Stelle einmal die Rede[5]).

Weiterhin beobachtet er die Wärmewirkung, wenn man die Sonnenstrahlen in einem Hohlspiegel auffängt[6]). Außer den bei den Brennspiegeln angeführten Stellen sei hier auf eine weitere[7]) hingewiesen, die seine Ansicht erkennen läßt.

---

[1]) Vergl. Roger Bacos Opus mai. I. 167, und hierzu: Vogl, Roger Baco, S. 88.

[2]) Vergl. S. 25 und 137 dieser Arbeit.

[3]) C.-A., 347 r—a: „calore come di splendore" (ohne Figur).

„Wärme kommt vom Leuchten."

[4]) Z. B. C.-A., fol. 237 v—a, sowie 270 r—a und v—a.

[5]) Vergl. C.-A., fol. 116 v—b.

[6]) Vergl. hierüber bei dem Abschnitte über die Brennspiegel S. 129 dieses Buches.

[7]) M.—G, fol. 89 v: „Questa sintende pelcaldo eperla percussione e pelpeso efforza e molte altre cose e ediren prima delcaldo delsole che ches sinpreme nello spechio concavo erefre te di quello infigura piramidale laqual piramide quanto piu sirestrignie tanto proportionevol mente acquissta dipotentia coe sella piramide percote lobietto collame ta della sua lungheza essa resstrignie lameta de la sua grosseza dappiedi essella perote [percote] nelli noventa nove centesimi della sua lungheza essa siresstrigne li 99 centessimi della sua basa ecre sce li 99 centesimi delchaldo chericeve essa ba sa deldetto caldo del sole odel focho —." (Siehe Figur 96.)

„Dies ergibt sich aus der Wärme und aus dem Aufstoß und dem Gewicht und aus der Kraft und aus vielen anderen Sachen. Wir werden zuerst

Er spricht hier von den pyramidenartigen Figuren, die bei der Reflexion im Hohlspiegel entstehen, und meint wohl hiermit die nach dem Brennpunkte zusammenlaufenden Strahlen, die wie Pyramiden aneinander gereiht sind. Je weiter man nun nach dem Brennpunkt, oder, wie er sagt, an die Spitze der Pyramide kommt, um so enger wird die Pyramide, desto mehr Wärme macht sich hier bemerkbar.

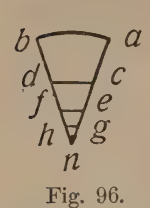
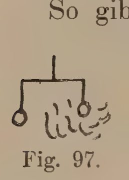


Fig. 96.

Diese Betrachtung Leonardos ist richtig.

Über die Ausdehnung und Zusammenziehung von Körpern durch die Wärme bezw. durch die Kälte spricht L. da Vinci zu verschiedenen Malen.

So gibt er an einer Stelle[1]) einen ganz allgemein gehaltenen Ausspruch, daß, wenn man zwei gleich schwere Gegenstände auf eine Wage legt, und wenn man den einen erhitzt, dieser leichter wird als der kalt gebliebene. Der Grund für diese Erscheinung sind bekanntlich am heißen Körper die aufsteigenden Luftströme.


Fig. 97.

Außerdem ist noch eine Zeichnung[1]) ohne Text zu erwähnen, nach der, wie Fig. 98 erkennen läßt, eine kräftige Platte (wahrscheinlich doch aus Metall) an einer Seite durch ein Feuer erwärmt wird. Hierdurch wird die Platte gebogen. Aber die Zeichnung läßt deutlich erkennen, daß Leonardos Ansicht falsch ist, da sich nämlich die Platte nach der er-

---

von der Wärme der Sonne sprechen, die sich in den Hohlspiegel eindrückt und von dort in pyramidenartigen Figuren zurückgeworfen wird, eine Pyramide, die, je mehr sie sich zusammenzieht, proportional an Kraft zunimmt. D. h., wenn die Pyramide den Gegenstand mit der Hälfte ihrer Länge trifft, zieht sie sich um die Hälfte ihres Durchmessers zusammen, und wenn sie in den $^{99}/_{100}$ ihrer Länge auftrifft, so ziehen sich die $^{99}/_{100}$ ihrer Basis zusammen, und es wachsen die $^{99}/_{100}$ ihrer Wärme, die die Basis der genannten Wärme von der Sonne oder dem Feuer erhält."

[2]) M.—A, fol. 57 r: „luna dele 2. chose diparipeso. posta sopra labilancia. quella. cheffia. infochata fia. piv. lieve. chelaltra. fredda" (siehe Figur 97).

„Wenn zwei Gegenstände von gleichem Gewichte auf eine Wage gelegt werden, wird der, der glühend gemacht wird, leichter werden als der andere, der kalte."

[1]) M.—Ash_2, fol 4 r (siehe Figur 98).

wärmten Seite zu biegt, während die Biegung doch wegen der Ausdehnung dieser Seite gerade umgekehrt sein müßte.

Die Ausdehnung einer Flüssigkeit durch die Wärme und das Leichterwerden durch diese Ausdehnung gibt Leonardo an verschiedenen Stellen[1]).



Fig. 98.

Das Gegenteil wäre das Schwererwerden durch Abkühlung. Aber man sieht am Schlusse des eben angeführten Ausspruches, daß er von der „Erwärmung" spricht. Ob hier nun ein Schreibfehler Leonardos vorliegt, oder ob es wirklich seine Ansicht war, konnte leider nicht ermittelt werden.

Das Zusammenziehen einer Flüssigkeit, also ihr Gefrieren, erwähnt Leonardo ebenfalls[2]). Er spricht hier den richtigen Gedanken aus, daß ein stärkeres Gefrieren stattfindet, wenn die Kälte zunimmt.

Hier seien noch zwei Stellen[3]) angeführt, die nicht deut-

---

[1]) Z. B.: C.—A., fol. 270 v—a: „L' umido si fa più lieve, che più si dilata, e si fa più grave, che più si riscalda" (ohne Figur).

„Das Feuchte wird um so leichter, je mehr es sich ausdehnt, und es wird um so schwerer, je mehr es sich erwärmt." [Hier muß ein Irrtum von L. vorliegen.]

[2]) M.—A, fol. 56 r: „doue magiore. fredo li e magiore fissatione domori" (ohne Figur).

„Wo eine größere Kälte ist, da ist ein größeres Festwerden von Flüssigkeiten."

[3]) M.—A, fol. 56 r: „lumidita. debassi lochi. ettirare inalto. nelmedesimo. modo chella tira. invboli. essueglie. laloro. vmidita. delletto. delmare" (ohne Figur).

„Die Feuchtigkeit der tiefen Orte wird auf dieselbe Weise in die Höhe gezogen, wie sie die Wolken anzieht und ihre Feuchtigkeit aus dem Bett des Meeres erweckt."

Und:

C.—A., fol. 200 r—a: „Acqua fredda. Acqua calda. L' acqua à il moto sol per la gravità e levità sua, e questi sono sua accidenti, perchè essa in sè non à gravità nè levità, ma la gravità acquista, quando essa è sopra o in confini laterali d' aria o altro liquido più lieve di sè, e la levità acquista, quando nel vaporare s' assottiglia mediante il calore, e allora sta sopra l' acqua fredda." (Ohne Figur.)

lich erkennen lassen, was Leonardo mit ihnen sagen will. Aus der ersten ist aber zu schließen, daß er die Bildung der Wolken gemeint hat, während die zweite wohl angeben soll, daß sich in einem Gefässe der Dampf über dem erhitzten Wasser sammelt.

Die Übertragung der Kenntnisse dieses Gebietes auf praktische Verwendungen finden wir bei Leonardo vielfach, wie es ja auch auf den anderen Gebieten der Fall ist. Es seien daher einige Beispiele hier angegeben:

So erkennen wir nach Fig. 99[1]) eine Vorrichtung zum Heben von Wasser durch Aspiration.

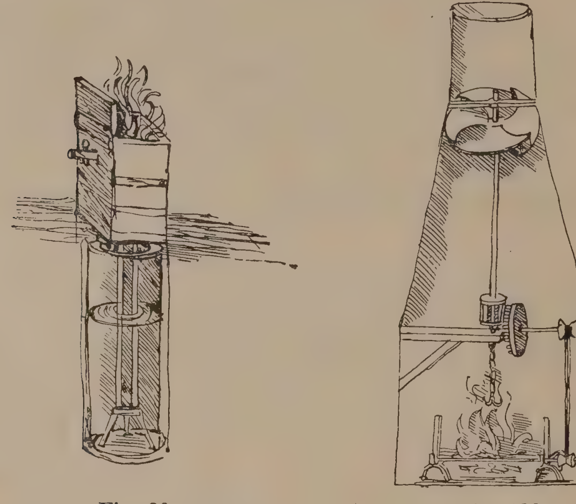


Fig. 99. Fig. 100.

Ferner gibt er die Zeichnung eines durch erwärmte Luft angetriebenen Bratspießes[2]). (Fig. 100.)

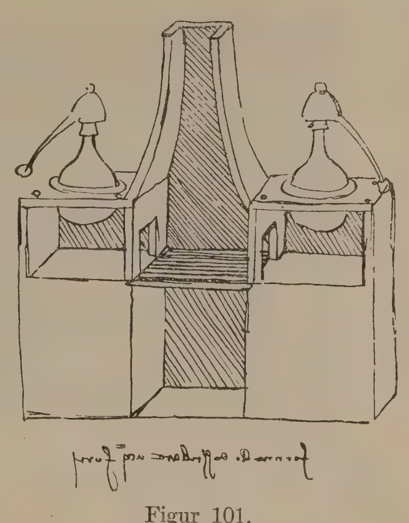
„Kaltes Wasser. Warmes Wasser. Das Wasser hat die Bewegung allein durch seine Schwere und Leichtigkeit, und diese sind seine Akzidentien, da es an sich weder Schwere noch Leichtigkeit hat, sondern die Schwere erwirbt es, sobald es oben ist oder seitlich an die Luft angrenzt oder an eine andere Flüssigkeit, die leichter ist als es selbst, und die Leichtigkeit erwirbt es, wenn es beim Verdampfen durch die Wärme verdünnt wird und dann steht es über dem kalten Wasser.“

[1]) C.-A., fol. 5r—a; eine fast gleiche Figur befindet sich im M.-F, fol. 16v. (Fig. 99.)

[2]) C.-A., fol. 5v—a (siehe Figur 100).

Außerdem sei hier ein Destillierapparat erwähnt[1]), der aber merkwürdigerweise zum Destillieren von „Scheidewasser“ verwendet werden soll. (Fig. 101.)

Wie bereits eingangs dieses Kapitels gesagt wurde, hat sich Roger Baco mit der Lehre von der Wärme befaßt und eine für die damalige Zeit hervorragende Erklärung über die Entstehung der Wärme durch Reibung gegeben. Wir wissen ferner, daß bei den Alten und auch bei den Vorgängern Leonardos die einfachen Erscheinungen auf dem vorstehenden Gebiete bekannt waren, wie z. B. das Sieden, Verdampfen von Flüssigkeiten, ihr Verdunsten an der Luft u. s. w., sowie ihr Gefrieren. Ferner das Schmelzen der Metalle u. s. f.[2]).



Figur 101.

Daß Leonardo auch nicht die Vorrichtung zum Heben von Wasser durch Feuer, also durch Aspiration, als erster angegeben hat, wissen wir aus einer alten arabischen Schrift, dem Ridwân[3]), dessen letzter Abschnitt ein Beschreibung enthält, „wie man das Wasser durch Feuer emporsteigen läßt.“

Auch Destillationsapparate waren bereits im Altertum bekannt.

So sehen wir also, daß Leonardos Angaben wiederum von seinen Vorgängern stammen und keineswegs ihm zuzuschreiben sind.

---

[1]) C.-A., fol. 335 r—b: „Fornello da stillare acque forti“ (siehe Figur 101). „Ofen zum Destillieren von Scheidewasser.“

[2]) Vergl. z. B. Poggendorffs Geschichte der Physik.

[3]) Wiedemanns Beiträge VI, S. 13.

D. Magnetismus.

Sehr wenig ist in Leonardos Werken über den Magnetismus zu finden, gar nichts über die Elektrizität.

Zwar zieht er bisweilen die anziehende Wirkung des

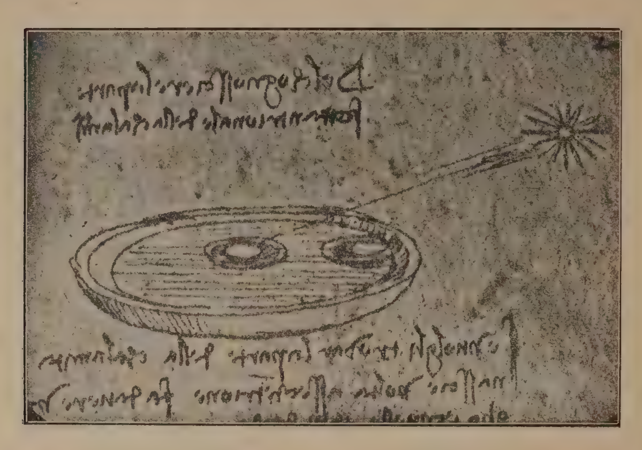


Fig. 102.

Magnetes zu Vergleichen heran, aber über diesen selbst spricht er verhältnismäßig wenig. Nur an einer Stelle[1]) gibt er an,

---

[1]) M.—E, fol. 2 r: „Del chognossciere laparte settantrionale della chalamita. Sevuolgli trovar laparte della chalamita laquale nasscie volta assectentrione fa dauere vn vaso lar gho ecquello enpi dacta [dacqua] einquesta acqua mettivna tazza di legnio nella qual metti lachalamita sanza altra acqua ecquesta resstera annuoto amodo di barcha einmediate mediante lasua virtu attracti va simovera inverso lasstel la settentrionale eacquella simovera prima voltan do si conessa taza inmodo chessiavolta aessastella eppoi simovera peressa acqua essi fermera allorlo dital uaso cholla predecta parte settentrionale etc.“ (Fig. 102.)

„Wie man die Nordrichtung des Magneten finden kann. Wenn du die Richtung des Magneten finden [sehen] willst, die zu Tage tritt durch die Wendung nach Norden, laß dir ein großes Gefäß geben, fülle es mit Wasser; in dies Wasser tue ein Holzgefäß und in dies den Magneten ohne anderes Wasser. Dieser [sc. Magnet] wird gleich einem Schiffe schwimmen, und unmittelbar darauf wird sich seine Anziehungskraft nach dem Nordstern bewegen; er wird sich gegen diesen bewegen, indem er sich zuerst mit dem Gefäß bewegt, derart, daß er gegen den Stern gewendet sein wird, und dann wird er sich durch das Wasser wenden und am Rande des Gefäßes stillstehen mit dem genannten nördlichen Teil u. s. w.“

wie man den nördlichen Teil des Magnetes erkennen kann. Hierbei wird das allbekannte Experiment beschrieben, daß man nämlich den Magnet auf eine Holzschale legt und diese dann in ein Gefäß mit Wasser setzt. Alsdann dreht sich der Magnet nach Norden oder, wie Leonardo sagt, nach dem Nordstern. (Fig. 102.)

Wenn er auch hier nicht die Magnetnadel selbst anführt, so kann man aber wohl als sicher annehmen, daß er sie meint. Denn wir wissen, daß der Kompaß zu Leonardos Zeit längst bekannt und zur Verwendung gekommen war. Auch können wir seine Kenntnis aus zwei Zeichnungen entnehmen, die deutlich die Lagerung des Kompasses in der sogenannten Cardanischen Aufhängung zeigen[1]). Da Cardani aber nach Leonardo gelebt hat, so ist es eigentlich nicht richtig, die Lagerung nach dem ersteren zu nennen.

Von Interesse ist zu sehen, daß Leonardo glaubt, daß der gesamte Magnet nach dem Nordstern zu schwimmt Zufällige Beobachtungen haben ihn dazu wohl verführt.

Wenn wir auch nirgends eine genaue Zeichnung einer Windrose finden können, so ist sie doch auf einer allegorischen Zeichnung zu erkennen, die Müntz[2]) nach einer solchen aus der Bibliothek von Windsor wiedergegeben hat. Auf dieser allegorischen Figur mit dem Datum 1516 fährt ein Rind in

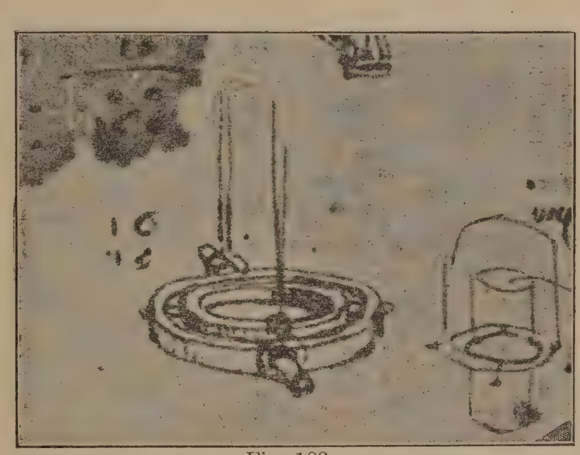


Fig. 103.

[1]) C.-A., fol. 288r—b und 316r—b (an letzterer Stelle steht das Wort: „Bussola“). (Siehe hierzu Fig. 103.)

[2]) Vergl. Müntz, Leonardo da Vinci, Paris, 1899, S. 305.

einem Schiff und hat vor sich einen vollkommenen Kompaß mit Windrose.

Von den Vergleichen mit dem Kompaß seien hier einige erwähnt. Besonders muß der eine [1]) hervorgehoben werden, aus dem die Erkenntnis hervorgeht, daß sich Körper gegenseitig anziehen, und daß stets der größere den kleineren beeinflußt.

Auch sei hier auf die bereits mehrfach herangezogene Stelle [2]) hingewiesen, an der mehrere Vergleiche angestellt werden. Von Wichtigkeit für uns ist dieser Ausspruch, weil Leonardo hier angibt, daß die Wirkung des Magnets durch andere Gegenstände, z. B. durch eine Wand, hindurchgeht.

Für unsere Begriffe nicht ganz klar ist im nächsten Ausspruche [3]) die Bemerkung Leonardos über die Schwere zweier

---

[1]) C.-A., fol. 225 r—e: „In fra i chorpi che per ispirituale legame congiunti sono, quello che sarà più grave, sanza moto di sè, tirerà a sè il più lieve, come la calamita.“ (Ohne Figur.)

„Unter den Körpern, die durch ein geistiges Band verbunden sind, zieht der schwerere, ohne Bewegung an sich, den leichteren an sich, wie der Magnet.“

[2]) C.-A., fol. 126 r—a. (Siehe S. 113 nnd Fig. 52,)

[3]) C.-A., fol. 75 v—a: „Perchè se due liquidi speriici di quantità inequali venano al principio del contatto infra loro, il maggiore tira a sè il minore, e immediate se lo incorpora, sanza destruggere la perfezione della sua spericità. Questa è difficile risposta; ma per questo non restere' di dirne il mio parere. L' acqua vestita dall' aria naturalmente desidera stare unita nella sua spera, perchè in tal sito essa si priva di gravità, la qual gravità è dupla, cioè che 'l suo tutto à gravità attesa al centro delli e [le] menti; la seconda gravità attende al centro d' essa spericità d' acqua, il che se così non fu [ssi], essa farebbe di sè sola mente una mezza spera, la quale è quella che sta dal [. . .] centro in su; ma di questa non veggo nello umano ingegno modo da darne scienzia, ch 'a dire come si dice della calamita che tira il ferro, cioè che tal virtù è [oc] culta proprietà, delle quale n' è infinite in natura.“

Nach Herzfeld: „Warum, wenn zwei sphärische Flüssigkeiten von ungleicher Menge zum Anfang einer Berührung kommen, die größere die kleinere an sich ziehen wird und unmittelbar sich einverleiben, ohne die Vollkommenheit ihrer Kugelgestalt zu zerstören. Das ist eine schwierige Antwort; aber deshalb werde ich doch nicht zögern, mein eigenes Dünken [meine Ansicht] zu sagen. Das Wasser, von der Luft umkleidet, will von Natur aus in seiner eigenen Sphäre vereinigt bleiben, weil es in solcher Lage sich selbst die Schwere nimmt. Aber hier sehe ich in dem menschlichen Verständnisse keine Weise, darüber eine Erklärung zu geben, es wäre denn, wie man von

sphärischer Flüssigkeiten, die sich berühren und dann ineinander vereinigen. Ebenso unverständlich ist seine Ansicht über „die okkulte Eigenschaft“ des Magnets.

Wie schon oben angedeutet, war der Magnet und seine Wirkung bereits lange vor Leonardo bekannt. Bei den Chinesen soll er schon seit undenklichen Zeiten[1]) im Gebrauche gewesen sein. Nach dieser Literaturquelle wird vermutet, daß Marco Polo die Magnetnadel am Ende des 13. Jahrhunderts aus China mitgebracht habe. Aber es ist wohl wahrscheinlicher, daß sie von den Arabern nach dem Abendlande gekommen ist[2]).

Nur ist es eigenartig, daß Leonardo, der doch im angeführten Bilde die Magnetnadel auf einer Nadel spielen läßt, das Experiment, einen Magneten auf einer schwimmenden Holzschale sich einstellen zu lassen, eingehend schildert, trotzdem ihm doch Petrus Peregrinus und dessen Werke bekannt waren[3]).

Bezüglich der Ringaufhängung mit versetzten Drehpunkten ist noch zu erwähnen, daß Philon von Byzanz schon eine solche kannte[4]).

Schlußwort.

Aus den vorstehenden Untersuchungen ist zu erkennen, daß sich Leonardo da Vinci außer mit der Mechanik ganz besonders mit der Optik beschäftigt hat. Wie bereits zu Anfang des Kapitels über die Optik angeführt wurde, ist

---

dem Magneten sagt, daß er das Eisen anzieht, d. h., daß jene Kraft eine verborgene Eigenschaft ist, deren es unendliche in der Natur gibt.“

[1]) Vergl. Kottmann, „Petrus Peregrinus, der Erfinder des ersten auf einer Nadel schwebenden Kompasses“, in der „Welt der Technik“, 1908, S. 207.

[2]) Vergl. Wiedemann, Über die Naturwissenschaften bei den Arabern, Hamburg, 1890, S. 20.

[3]) Vergl. zu der Literatur u. a. Gerland, Mitt. z. Gesch. der Medizin u. Naturw., Bd. 6, S. 9, 1907; Verhandl. der deutschen physik. Ges., 1909, Bd. 10, S. 377,; Wiedemann, Verhandl. der physik. Ges., 1908, Bd. 9, S. 764; 1909, Bd. 10, S. 262.

[4]) Vergl. Phylon de Byzanz. Ausgabe von Carra de Vaux, Paris, 1902, S. 171; ferner: Feldhaus, Ruhmesblätter der Technik, Leipzig, 1910, S. 438.

letztere unter dem Namen „Lehre von der Perspektive" von zahlreichen Gelehrten des Altertums und des Mittelalters eingehend behandelt worden. Daher kommt es wohl auch, daß Leonardos Werke hierüber so sehr viel Aufzeichnungen enthalten. Vergleicht man diese Aufzeichnungen mit denen seiner Vorgänger, wie es im Vorstehenden in möglichst eingehender Weise versucht ist, so findet man, daß Leonardo vollständig von den Alten und besonders von den arabischen Gelehrten des Mittelalters, die ja auf den Werken der erstgenannten aufgebaut und sie in zuweilen hervorragender Weise weiterentwickelt haben, abhängig ist. Gerade aus den Werken der Araber, die meist in das Lateinische und Italienische übertragen waren, und die uns zum größten Teile in den letzten Jahrzehnten zugänglich geworden sind, zeigt sich deutlich, wie sehr Leonardo beeinflußt wurde. Leider hat er nicht so viel Nennenswertes hinzugefügt, daß die Ansicht einzelner Schriftsteller, Leonardo sei ein großer Physiker des Mittelalters gewesen, aufrecht erhalten werden kann.

Die Abhängigkeit Leonardos von seinen Vorgängern in den anderen Zweigen der Physik, z. B. in der Lehre vom Schall, von der Optik und vom Magnetismus, ist ebenfalls im Vorstehenden dargetan worden. Bezüglich der Mechanik konnte ich bereits bei meinen Studien, die neben den hier mitgeteilten einhergingen, ebenfalls eine Reihe von Übereinstimmungen der Aufzeichnungen und Aussprüche Leonardos mit denen der Alten und der Araber feststellen. Sie sollen demnächst in einzelnen Abschnitten zur Veröffentlichung kommen.

Zum Schlusse sei mir nochmals gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Professor Dr. E. Wiedemann, sowie Herrn Professor Dr. M. Noether und Herrn Dr. Vogl für die so oft bewiesene Anteilnahme am Fortgang meiner Arbeit und für die tatkräftige Unterstützung während deren Anfertigung auf das herzlichste zu danken.

Alphabetisches Personenverzeichnis.

(Für die im Texte der Arbeit vorkommenden Personen.)

Lebenslauf.

Als der Sohn des Ingenieurs und Eisenbahnbauunternehmers Georg Werner und seiner verstorbenen Ehefrau Pauline, geb. Rolle, wurde ich am 3. Dezember 1872 zu Kl. Ottersleben bei Magdeburg geboren. Ich bin evangelischer Konfession.

Nach Ablegung der Reifeprüfung auf dem Realgymnasium zu Saalfeld a. S. studierte ich auf der Techn. Hochschule in Charlottenburg Bauingenieurwissenschaften. Nach Beendigung des Studiums war ich im In- und Auslande, besonders bei Bahnbauten, beschäftigt und eine Reihe von Jahren im Staatsdienste tätig. Im Jahre 1905 begann ich von Neuem mit dem Studium der Physik auf der Universität Berlin und Erlangen. An der letzteren wurde ich durch Herrn Professor Dr. E. Wiedemann zu der vorliegenden Arbeit angeregt.

Meine Vorbildung verdanke ich den Herren Professoren Dziobek, Koch, Krüger, Kühn, H. W. Vogel, Miethe, Hirschwald, Hauck, Paalzow, Pietsch, Doergens, Meyer, Müller-Breslau, Weingarten an der Techn. Hochschule in Berlin, sowie den Herren Professoren Aschkinass, Blasius, Drude, v. Halle, Hintze, Martens, A. Wagner, Wehnelt, Wiedemann an den Universitäten Berlin und Erlangen.

